

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2008

TEREZA KRUTSKÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

JEDNODUCHÝ TEXTILNÍ DOZIMETR UV
ZÁŘENÍ

SIMPLE TEXTILE DOSIMETER OF UV
RADIATION

504

LIBEREC 2008

TEREZA KRUTSKÁ

Zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12. května 2008

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala Ing. Martině Víkové a Doc. Ing. Michalovi Víkovi za jejich cenné rady, trpělivost a ochotu při vedení této diplomové práce, Bc. Kláře Antesové za pomoc při výrobě vzorků a také celé mojí rodině a přátelům, kteří mi byli oporou při studiu.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navržení jednoduchého textilního dozimetru UV záření.

V teoretické části této diplomové práce je popsán problém ultrafialového záření, jeho účinky na organismus a na textilní materiály a možný způsob ochrany před ním. Dále je zpracováno téma dozimetrie, dosavadní poznatky v této oblasti a některé druhy dozimetrů. Je vysvětlen princip barevného prostoru CIEL^{*}a^{*}b^{*} a také smart materiály, fotochromismus a fotochromní materiály.

V experimentální části je popsáno provedení subjektivního hodnocení změny barevné odchylky na vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení pomocí skupiny pozorovatelů. Dále jsou popsána provedená dozimetrická měření pomocí doporučených přístrojů ve speciálně postaveném expozičním systému HB311 a zjištění spektrální distribuce použitého zdroje osvětlení a zjištění L^{*}a^{*}b^{*} hodnot použitých textilních senzorů.

Abstract

The aim of this thesis is proposal of simple textile dosimeter of UV radiation.

In the theoretical part there is described the problem of ultraviolet radiation, its impact on organism and textile materials and possible way to its protection. Below in this part is processed dosimetry topic, existing knowledge in this sphere and some kinds of dosimeters. There is also made clear principle of CIEL^{*}a^{*}b^{*} colour space and smart materials, photochromism and photochromic materials.

In the experimental part there is described how subjective classification of colour difference modification was made to its dependence on distance from used illumination source by the help of the group of observers. Down below is described dosimetric measurement that is being used with advised device that was specially built for this reason – exposure system HB311 and observation of distribution of used illumination source and findings L^{*}a^{*}b^{*} data value of used textile sensors.

Klíčová slova

textilní dozimetr, dozimetrie, smart materiály, fotochromismus, vizuální odchylka, CIEL^{a*}b* barevný prostor, osvětlení

Key Words

textile dosimeter, dosimetry, smart materials, photochromism, visual difference, CIEL^{a*}b* colour space, illumination

Obsah

ZADÁNÍ.....	0
PROHLÁŠENÍ	3
PODĚKOVÁNÍ	4
ABSTRAKT.....	5
KLÍČOVÁ SLOVA	6
OBSAH	7
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	9
ÚVOD	11
I. TEORETICKÁ ČÁST	13
1. ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ.....	13
2. ZDROJ UV ZÁŘENÍ.....	14
3. ÚČINKY UV ZÁŘENÍ NA ORGANISMUS.....	14
4. UV – INDEX.....	15
5. OCHRANA ZDRAVÍ PŘED NEPŘÍZNIVÝMI ÚČINKY UV ZÁŘENÍ.....	16
6. BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ	16
7. ÚČINKY UV ZÁŘENÍ NA TEXTILNÍ MATERIÁLY	17
8. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ UV OCHRANNÝ FAKTOR TEXTILIE.....	18
8.1. UV ochranný faktor UPF.....	18
8.2. Sluneční ochranný faktor SPF	18
9. UV ABSORBÉRY	19
9.1. Mechanismus UV absorbéru.....	19
10. RADIOMETRIE	21
11. FOTOMETRIE	21
12. DOZIMETRIE	22
13. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ.....	22
14. INTEGRÁLNÍ DOZIMETRICKÉ METODY	24
14.1. Radiofotoluminiscenční dozimetry	26
14.1.1. Způsob vyhodnocení RPL dozimetrů.....	27
14.2. Filmové dozimetry.....	28
14.3. Termoluminiscenční dozimetry	29
14.4. Ionizační integrální dozimetry	29
15. SYSTÉM MĚŘENÍ BAREV PODLE CIE.....	30
16. VÝPOČET MNOŽSTVÍ IMAGINÁRNÍCH MĚRNÝCH SVĚTEL X, Y, Z.....	31
16.1. Emisní vzorky.....	31
16.2. Reflexní vzorky.....	32
17. BAREVNÝ PROSTOR CIEL* A*B*	33
18. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ BAREVNÉ DIFERENCE.....	34

19.	POSUDKY PASS/FAIL	34
20.	OBJEKTIVNÍ VYJADŘOVÁNÍ EGALITY	35
21.	HODNOCENÍ STÁLOSTI VYBARVENÍ	35
22.	OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA BARVIV	35
23.	TEXTILNÍ VLÁKNA	36
24.	FIXACE BARVIV NA VLÁKNO	37
25.	STÁLOSTI BARVIV A JEJICH HODNOCENÍ	37
26.	SMART MATERIÁLY	39
27.	FOTOCHROMISMUS	39
27.1.	Reverzibilní fotochromismus	40
27.2.	Ireverzibilní fotochromismus	40
27.3.	Fotochromní materiály	41
II.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
1.	PŘÍPRAVA VZORKŮ	42
2.	SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ	46
2.1.	Měření ozářenosti a osvětlenosti	52
2.2.	Fialový vzorek	56
2.3.	Modrý vzorek	59
3.	OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ	62
3.1.	Spektrální distribuce použitého zdroje osvětlení	73
3.2.	Poloha vzorků v barevném prostoru CIE $L^*a^*b^*$	74
3.2.1.	Přepočet naměřených hodnot xyL_v na hodnoty $L^*a^*b^*$ u fialového vzorku	76
3.2.2.	Přepočet naměřených hodnot xyL_v na hodnoty $L^*a^*b^*$ u modrého vzorku	81
4.	NAVRŽENÍ JEDNODUCHÉHO TEXTILNÍHO DOZIMETRU UV ZÁŘENÍ	86
4.1.	Přiřazení koncentrací fialového dozimetru	88
4.2.	Přiřazení koncentrací modrého dozimetru	88
5.	REKAPITULACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	90
5.1.	Příprava vzorků	90
5.2.	Subjektivní hodnocení	90
5.3.	Objektivní hodnocení	90
5.4.	Navržení jednoduchého textilního dozimetru UV záření	91
	ZÁVĚR	92
	CITACE, SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	95
	SEZNAM TABULEK	96
	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
	SEZNAM GRAFŮ	99

Seznam použitých zkratk a symbolů

aj.	- a jiné
Ag	- stříbro
cm	- centimetr
CIE	- Commission Internationale de l'Eclairage
CIEL ^{a*} ^{b*}	- barevný prostor
ČR	- Česká republika
ČSN	- česká norma
DNA	- deoxyribonukleová kyselina
dV	- vizuální odchylka
EN	- evropská norma
g	- gram
GS	- stupeň šedé stupnice
Gy	- grey
HALS	- Hindered Amine Light Stabilizers
ISO	- mezinárodní norma
K	- stupeň Kelvína
kg	- kilogram
kJ	- kilojoule
kLy	- kilolangley
L _v	- jas
Lx	- lux
MED	- minimální erytémová dávka
MHz	- megahertz
mm	- milimetr
nm	- nanometr
obr.	- obrázek
RNA	- ribonukleová kyselina
RPL	- radiofosfoluminiscenční dozimetr
Si	- křemík
SPF	- sun protective factor
Sv	- sievert
T _C	- teplota chromatičnosti
T _{CP}	- náhradní teplota chromatičnosti
tj.	- to je
TLD	- termoluminiscenční dozimetr
tzv.	- tak zvaný
UPF	- ultraviolet protective factor

UV	- ultrafialový
UVA	- ultrafialové záření typu A
UVB	- ultrafialové záření typu B
UVC	- ultrafialové záření typu C
W	- watt
Z	- faktor znečištění
°C	- stupeň Celsia
-NH ₂	- nitrilová funkční skupina
-OH	- hydroxidová funkční skupina
C ₆ H ₅ COC ₆ H ₅	- benzofenon
C ₆ H ₅ N ₃	- benzotriazol
C ₇ H ₆ O ₃	- kyselina salicylová
H ₂ O	- voda
H ₂ O ₂	- peroxid vodíku

ÚVOD

V současné době se mnohem rychleji zhoršují životní podmínky a sluneční záření je stále agresivnější. Ozónová vrstva, ve které se nachází mnohonásobně zvýšený poměr ozonu má velmi důležitou roli při ochraně naší planety a zejména života na ní, protože brání prostupu ultrafialového záření na její povrch.

Dvouatomové molekuly kyslíku obsažené ve stratosféře se při střetu s fotony ultrafialového záření štěpí na atomární kyslík a ten se opětovně spojuje ve dvouatomové molekuly kyslíku a také ve tříatomové molekuly ozónu. Ty celkem snadno absorbují energii ultrafialového záření, které poté dopadá na povrch planety v mnohem menší míře.

Kvůli ztenčování ozónové vrstvy, které je z velké části způsobeno vypouštěním halogenových sloučenin, které přednostně reagují s atomárním kyslíkem a zabraňují tak vzniku molekul ozónu však ultrafialové záření proniká stratosférou a způsobuje vznik mnoha typů nádorových onemocnění kůže a poškození zraku.

S tímto problémem vyvstává otázka, jak bychom se měli před tímto nejenom pro člověka škodlivým zářením ochránit.

Je obecně známo, že jakýkoliv textilní materiál snižuje množství prostupujícího ultrafialového záření a zabraňuje tak střetu s pokožkou. To však pozbývá významu především v letních měsících, kdy lidé kvůli zvýšeným teplotám chodí více odhaleni a jejich pokožka zůstává před škodlivým ultrafialovým zářením neochráněna.

Z tohoto důvodu by bylo dobré s sebou nosit dozimetr detekující množství dopadajícího ultrafialového záření. V této oblasti je široké uplatnění tzv. smart textilií, které mohou mít buď zabudovaný malý elektronický dozimetr, který přímo ukáže číselnou hodnotu množství ultrafialového záření nebo mohou být samy dozimetrem a při překročení určité dávky ultrafialového záření se zabarvit a upozornit tak nositele na škodlivé množství ultrafialového záření, které na něj působí.

V teoretické části této diplomové práce byl popsán problém ultrafialového záření, jeho účinky na organismus a na textilní materiály a možný způsob ochrany před ním. Dále bylo zpracováno téma dozimetrie, dosavadní poznatky v této oblasti a některé druhy dozimetrů. Byl vysvětlen princip barevného prostoru CIEL^{*}a*b^{*} a také smart materiály, fotochromismus a fotochromní materiály.

V experimentální části byla popsána výroba vzorků, provedení subjektivního hodnocení změny barevné odchylky na vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení

pomocí skupiny pozorovatelů. Dále byla popsána provedená dozimetrická měření pomocí doporučených přístrojů ve speciálně postaveném expozičním systému a zjištění spektrální distribuce použitého zdroje osvětlení a zjištění $L^*a^*b^*$ hodnot použitých textilních senzorů.

Cílem této diplomové práce bylo na základě vyhodnocení výsledků měření navržení jednoduchého textilního dozimetru UV záření a jeho vytvoření. To je zároveň přínosem této diplomové práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ

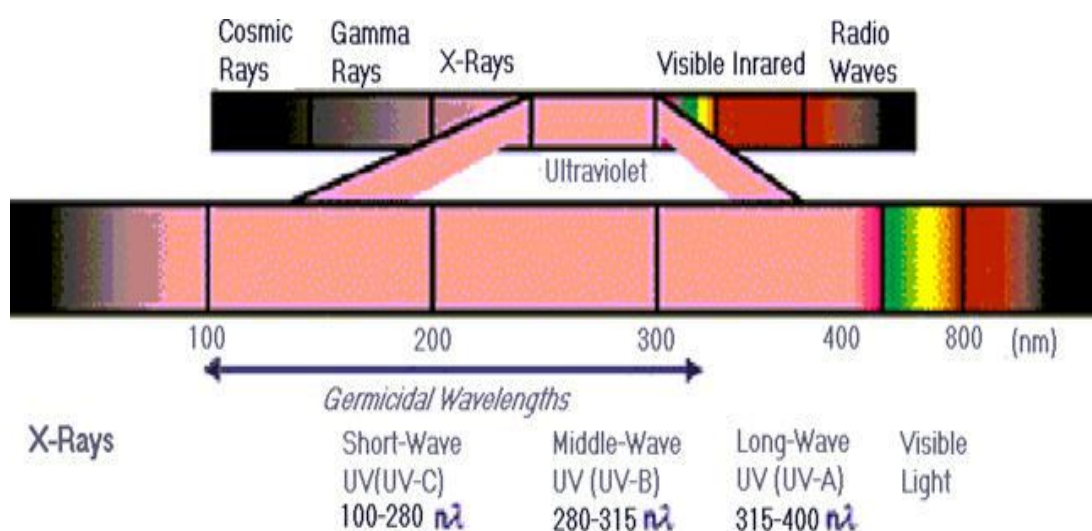
Ultrafialové záření (UV) je neviditelné elektromagnetické záření o vlnové délce 100 – 400 nm a frekvenci 10¹⁵ až 10¹⁷ MHz. Je součástí slunečního spektra a nachází se mezi viditelným slunečním zářením a rentgenovými paprsky. Je také produkováno uměle, např. rtuťovými obloukovými lampami.

Ultrafialové záření je tvořeno třemi složkami: UVA, UVB a UVC.

UVA (315 – 400 nm) – tato složka vyvolává podráždění až poškození pokožky a má vliv na možný vznik zhoubného nádoru z pigmentových buněk kůže.

UVB (280 – 315 nm) – je silnější záření, které má vyšší intenzitu v létě a je častou příčinou spálení od slunce a také kožního karcinomu.

UVC (pod 280 nm) – je nejsilnější a nejvíce škodlivá složka UV záření. Většina UVB a UVC záření je pohlcena ozónovou vrstvou předtím než dosáhne zemského povrchu. Část záření, která pronikne ozónovou vrstvou je zachycena běžným okenním sklem nebo odražena oblečením. [1]



Obrázek č. 1: Druhy záření v závislosti na jejich vlnové délce [1]

2. ZDROJ UV ZÁŘENÍ

Zdrojem UV záření na povrchu země je především sluneční záření. Ostatní zdroje UV záření jsou většinou umělé.

Nejvýkonnějším zdrojem UV záření je plazmový hořák užívaný hlavně k řezání kovů, svařování, nanášení těžko tavitelných keramických materiálů na povrch kovů aj.

Z dalších zdrojů, které mohou být příčinou pracovní expozice, jsou xenonové a rtuťové výbojky užívané k léčebným a kosmetickým účelům, prostorové dezinfekci a k jiným účelům. Dále elektrický oblouk, používaný ve svařování a také ke konstrukci plazmatronů, což jsou speciální hořáky určené k nanášení těžkotavitelných látek na povrch obecných kovů. [1]

3. ÚČINKY UV ZÁŘENÍ NA ORGANISMUS

Pokud by UV záření, které vzniká jako součást slunečního záření, pronikalo až na zemský povrch, byly by jeho účinky na život smrtící.

Díky tomu, že UV záření neproniká do hloubky tkání, nejcitlivějším orgánem jsou tak kůže a oči (oční spojivky a rohovka, u dlouhověkého UVA pak také oční čočka). Průnik UV záření normální kůže je jen do hloubky 0,6 mm. Dostatečná dávka UVA tak vyvolává zhnědnutí kůže. Kvůli ozáření UVB paprsky dochází ke zčervenání kůže a popřípadě k tvorbě zánětů až puchýřů.

V oku absorbuje UV záření spojivka a částečně i rohovka. Po ozáření oka UV paprsky může dojít k zánětu spojivek a rohovky provázený zpravidla zánětlivou reakcí kůže očních víček a kůže obličeje.

Z pozitivních účinků UV záření lze uvést tvorbu vitamínu D a zpracování vápníku. Vitamin D se ukládá do kůže, jater, mozku a kostí. Účinně řídí metabolismus vápníku a podporuje vstřebávání vápníku ve střevech, ukládání vápníku do kostí a reguluje dynamickou přestavbu kostí. Příznivě ovlivňuje některé reakce nervového systému a zvyšuje odolnost k tělesné zátěži. [1]

4. UV – INDEX

UV – index je mezinárodně standardizovaná bezrozměrná veličina charakterizující úroveň erytémového slunečního ultrafialového záření dopadající na zemský povrch, vyjadřující biologický efekt na lidské zdraví. Používá se k informovanosti obyvatelstva o možném negativním vlivu UV záření na lidský organismus, ale také o tzv. celkové době pobytu na slunci. Tyto hodnoty jsou vypočítány v minutách pro polední období pro čtyři základní kožní fototypy:

Fototyp: I..... vždy rudne, nikdy nezhnědne

Fototyp: II.....obvykle rudne a málo hnědne

Fototyp: IIIvždy hnědne a někdy rudne

Fototyp: IVvždy hnědne a nikdy nerudne

UV Index	Kožní fototypy			
	I	II	III	IV
1 – 3	15	10	5	-
4 – 6	25	20	10	5
7 – 9	40	30	20	15
10 a více	50	40	30	20

Tabulka č. 1: Hodnoty slunečního ochranného faktoru (SPF) doporučené pro jednotlivé fototypy kůže při prvním opalování [2]

V některých situacích je třeba upozornit na možnost vyšších hodnot UV – Indexu a tím i kratších dob oslunění. Typickým příkladem je pobyt na sněhové pokrývce v jarních měsících, kdy odraz od sněhu může zvýšit intenzitu až o 60 – 80% a tím zkrátit uvedené doby oslunění o 30 – 40%.

V naší geografické oblasti se UV – index pohybuje v rozmezí od 0 do 9, v tropickém pásu může dosáhnout až 15 nebo 16. Všeobecně se dá říci, že čím výše je Slunce nad obzorem (za jasného počasí), tím větší je UV – index. Čím větší UV – index, tím větší dávka UV záření.

Hodnota UV – indexu je daná intenzitou dopadajícího UV záření. Za určitý časový interval kůže absorbuje takové množství UV záření, které překročí hodnotu minimální erytémové dávky (1 MED), začne se v ní tvořit erytém a kůže se začne opalovat. [2]

5. OCHRANA ZDRAVÍ PŘED NEPŘÍZNIVÝMI ÚČINKY UV ZÁŘENÍ

Expozice očí a kůže UV záření by měly být omezeny na nezbytné minimum. Není – li z technologických důvodů možné zakrytí zdroje, musí být pracovníci chráněni vhodným oděvem, rukavicemi, brýlemi, respektive celoobličejovým štítem se skly nepropouštějícími UV záření.

Výběru vhodného materiálu na ochranný oděv musí být věnována dostatečná péče. Například běžná pánská košile propouští cca 20 % záření, lehká dámská blůza až 50 %. Kůži lze chránit ochrannými krémy, které obsahují látky působící jako UV filtr.

Zdroje UV záření, jejichž chod nelze kontrolovat zrakem, musí být vybaveny jeho signalizací. U zdrojů emitujících krátkovlnné UV záření se musí pamatovat na to, že mohou být zdrojem ozónu. [1]

6. BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Proces účinku ionizujícího záření na živou tkáň probíhá ve čtyřech význačných etapách lišících se svou rychlostí a druhem probíhajících procesů.

- **Fyzikální stádium** - při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace. Tento primární proces je velmi rychlý (prakticky okamžitý, rychlost kvant je rovna nebo blízká rychlosti světla), trvá jen cca 10^{-16} - 10^{-14} sekundy.

- **Fyzikálně-chemické stádium** - zde nastávají sekundární fyzikálně - chemické procesy interakce iontů s molekulami, při nichž dochází k disociaci molekul a vzniku volných radikálů (např. z vody H_2O vznikají vodíkové kationty H^+ a hydroxylové anionty OH^- a nestabilní produkty schopné oxidace H_2O_2 , HO_2). I tento proces je velmi rychlý, netrvá déle než 10^{-14} - 10^{-10} sekundy.

- **Chemické stádium** - vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty reagují s biologicky důležitými organickými molekulami ("atakují" molekuly DNA, RNA, enzymů, proteinů) a mění jejich složení a funkci. Typickou poruchou na molekulární úrovni jsou zlomy vláken v molekule DNA - buď zlom jen jednoho vlákna, nebo úplný zlom dvojvlákna DNA. Dále mohou vznikat atypické vazbové "můstky" uvnitř dvojvlákna DNA a další chemické změny. Jednotlivé procesy tohoto chemického stádia trvají různě dlouhou dobu - od tisícín sekundy do řádově jednotek sekundy, v závislosti na transportní době reaktivních složek z místa svého vzniku do místa lokalizace napadené biomolekuly.

- **Biologické stádium** - molekulární změny v biologicky důležitých látkách (v DNA, enzymech, proteinech) mohou vyústit ve funkční a morfologické změny v buňkách, orgánech i v organismu jako celku. Biologické stádium se při vysokých dávkách záření může projevit již po několika desítkách minut (akutní poškození či nemoc z ozáření), může však zahrnovat dobu latence několika let nebo i desítek let (pozdní stochastické účinky). [3]

7. ÚČINKY UV ZÁŘENÍ NA TEXTILNÍ MATERIÁLY

UV záření, jako přirozená součást slunečního záření, má vliv téměř na všechny textilní materiály, které se používají při výrobě technického textilu. Působením UV záření dochází k degradaci materiálu a tím ke ztrátám pevností základních stavebních prvků – vláken či pásků.

Intenzita UV záření je proměnlivá a je úměrná intenzitě slunečního záření v různých geografických oblastech. Intenzitu UV záření měříme v kLy (kilolangley), tedy v jednotkách, které vyjadřují, kolik energie UV záření v kJ dopadne na jeden cm² za rok. $1Ly = \frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ min}} = \frac{4,185 \text{ J}}{1 \text{ cm}^2 \cdot 60 \text{ s}} = 0,06975 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Největší vliv má UV záření na polypropylen. Tento materiál, který je základem mnoha odvětví, je třeba před účinky UV záření chránit. Děje se tak pomocí speciálních přísad - stabilizátorů. Stabilizace polypropylenů proti účinkům UV záření se řídí intenzitou tohoto záření v jednotlivých oblastech.

Pokud je např. polypropylenové lano stabilizováno na 100 kLy, tedy pro podmínky střední Evropy, znamená to, že zde toto lano nesmí během jednoho roku ztratit více než 50% své pevnosti. Aby nedocházelo k poměrně velkým úbytkům pevností (zejména u bezpečnostních aplikací), je nutno zvolit stabilizaci vyšší, než je intenzita UV záření v dané oblasti.

Obecně je známo, že nejmenší vliv má UV záření na polyester. [1]

8. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ UV OCHRANNÝ FAKTOR TEXTILIE

8.1. UV ochranný faktor UPF

Textilní materiály mají udávaný UPF (UV protective factor). Za dobrou ochranu se považuje UPF 15 - 20 (4, 2 - 6, 7% transmise UV), velmi dobrý UPF 25 - 35 (2, 6 - 4, 1% transmise UV) a vynikající UPF 40 - 50 (< 2, 6% transmise UV).

Prostup UV záření tkaninou je závislý na prostupu paprsků otvory mezi vlákny a samotnými vlákny textilie. Důležitými faktory jsou jakost tkaniny, typ vlákna, jeho barva, hmotnost, obsah vody a stárnutí vlákna. [1]

UV ochranný faktor textilie lze vypočítat podle následující rovnice:

$$UPF = \frac{\int E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot d_{\lambda}}{\int E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} \cdot d_{\lambda}}$$

E_{λ}erytémální spektrální efekt CIE

S_{λ}poměrné spektrální složení slunečního záření

T_{λ}spektrální transmitance vzorku

8.2. Sluneční ochranný faktor SPF

Pokud by vlákna absorbovala veškeré dopadající záření, pak by záření prostupovalo pouze v prostoru mezi vlákny. Z toho vychází definice maxima SPF.

$$SPF = \frac{1}{1 - \text{zakrytí}}$$

Sluneční ochranný faktor lze vypočítat podle následující rovnice: [4]

$$SPF = \frac{\int A_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot d_{\lambda}}{\frac{\int A_{\lambda} \cdot E_{\lambda}}{MPF_{\lambda}} \cdot d_{\lambda}}$$

E_{λ}erytémální spektrální efekt CIE

A_{λ} reakce na záření různých vlnových délek

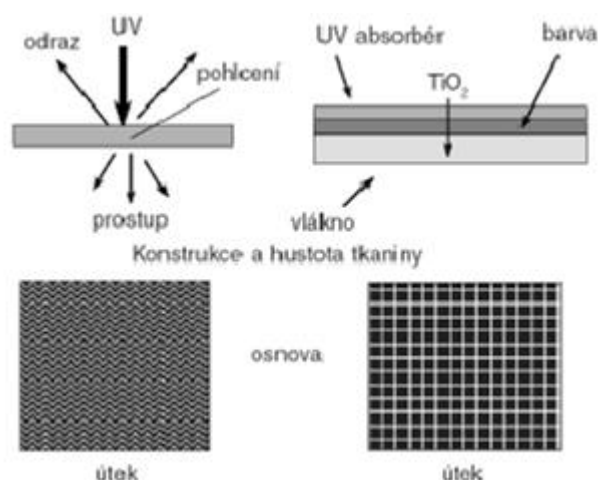
MPF_{λ} monochromatický ochranný faktor

9. UV ABSORBÉRY

UV filtry jsou látky, které jsou schopné buď slunečního záření absorbovat, nebo jej odrazit od povrchu. UV filtry můžeme rozdělit na dvě skupiny:

- **Fyzikální filtry** – princip filtru je odraz slunečního záření od povrchu předmětu. UV odrážející látky, jsou anorganické sloučeniny s širokým spektrem účinnosti. Ve spojení s chemickými absorbenty zvyšují SPF faktor a snižují obsah chemických absorbentů. Účinnost těchto filtrů závisí na velikosti a tvaru jejich částic
- **Chemické filtry** – principem je absorpce ultrafialového záření. UV absorbenty jsou látky, které účinně absorbují záření vlnových délek kolem 305 nm. Tyto absorbenty pohltnou energii a převedou ji do podoby fluorescence nebo zahřátí.

9.1. Mechanismus UV absorbentů



Obrázek č. 2: Chování paprsků při dopadu na tkaninu [5]

Při dopadu záření světla na povrch textilie může dojít k jeho odražení, absorpci nebo k průchodu mezi vlákny. [5]

UVB absorbující látky	UVA absorbující látky	UV odrážející látky
<ul style="list-style-type: none"> - deriváty kyseliny skořicové - deriváty PABA - deriváty kyseliny salicylové 	<ul style="list-style-type: none"> - deriváty benzofenonu - deriváty dibenzoylmethanu - deriváty dicamphor - deriváty hydantoinu 	<ul style="list-style-type: none"> - oxid titaničitý - oxid zinečnatý

Tabulka č. 2: Příklady UV ochranných látek tvořících skupinu slunečních filtrů [5]

Na UV absorbéry jsou kladeny následující požadavky:

- nesmějí propouštět ultrafialové světlo, tj. elektromagnetické záření o vlnových délkách od 280 nm do 400 nm, ale musejí je naopak absorbovat
- přijaté (absorbované) ultrafialové záření musí přeměnit na energeticky chudší, pro polymery neškodné, tj. dlouhovlnné, např. tepelné záření, jehož energie musí ležet pod hodnotou potřebnou k degradaci polymeru
- samy musejí být vůči ultrafialovému záření odolné, tj. přijatou energii musejí přeměňovat bez jakékoliv další změny
- mezi nimi, polymerem a dalšími přísadami ve směsi, nesmí docházet k žádné chemické reakci. Mohla by se totiž projevit minimálně změnou barvy výrobku

Látky, které tyto požadavky převážně splňují, jsou bezbarvé a podle jejich chemické struktury je lze dělit na:

- deriváty benzofenonu ($C_6H_5COC_6H_5$)
- deriváty kyseliny salicylové ($C_7H_6O_3$)
- deriváty benzotriazolu ($C_6H_5N_3$)
- tzv. stéricky (tzn. prostorově) stíněné aminy ($-NH_2$)

Samotný benzofenon neboli difenylketon není vhodným světelným stabilizátorem. Jeho deriváty však již ano.

Hydroxybenzofenon absorbuje 10% ultrafialového záření. Každá další substituce skupinou $-OH$ zvětšuje absorpční oblast o 10 nm, skupinou alkoxylovou ($-OR$, kde R je alkyl) o 5 nm. Počet uhlíkových atomů alkylu v alkoxylové skupině neovlivňuje oblast absorpce ultrafialových paprsků, ale snášenlivost světelného stabilizátoru s polymerem.

Derivátů kyseliny salicylové se používá v omezené míře, protože absorbují ultrafialové záření jen v úzké oblasti vlnových délek od 290 nm do 320 nm. Jejich další velkou nevýhodou je, že po delší době ozařování mění svou strukturu.

Deriváty benzotriazolu představují novější druh světelných stabilizátorů s vysokou absorpční schopností, která navíc u řady z nich prudce stoupá v oblasti vlnových délek kolem 400 nm.

Nejnovější skupinou světelných stabilizátorů tvoří tzv. stéricky (tzn. prostorově z hlediska molekulární stavby) stíněné aminy, označované zkratkou HALS (z angl. Hindered Amine Light Stabilizers – světelné stabilizátory na základě stíněných

aminů). Jsou to např. deriváty piperidinu. Jejich výhodou je vysoká účinnost, ale nevýhodou značná těkavost, malá snášenlivost s polymery a z ní plynoucí tendence vykvétat na povrch výrobku. Tyto nedostatky se snaží výrobci odstranit zavedením polymerních derivátů stíněných aminů.

Světelně stabilizační účinek vykazují také některé pigmenty. Jsou to hlavně bílé oxidy titaničitý a zinečnatý. Největší účinek ovšem mají aktivní uhlík. Zejména v případě polyetyleny jsou nejstarším a dosud nejúčinnějším ochranným prostředkem proti povětrnostnímu stárnutí. [6]

10. RADIOMETRIE

Radiometrie je věda zabývající se měřením záření ve všech částech elektromagnetického spektra. V praxi je ale spíše využívá pro měření infračerveného, viditelného a ultrafialového záření, která používají optické přístroje.

Radiometr je přístroj užívaný k zjištění množství energie pocházejícího ze zdroje záření. Může být použit k změření sluneční konstanty. Je používán také jako měřicí přístroj v planetárních sondách. [7]

11. FOTOMETRIE

Světlo šířící se prostorem lze charakterizovat jako energii procházející v daném směru jednotkovou plochou. Ve viditelné oblasti spektra je však v řadě případů nutné charakterizovat záření podle světelného vjemu, který vyvolává v lidském oku. Odpovídající veličiny a jejich jednotky se nazývají fotometrické.

Fotometrie tedy definuje a studuje veličiny charakterizující působení světelného záření na lidské oko.

Fotometr je přístroj k měření světelných hodnot (světelného toku, jasu, teploty, barvy). Používá se například ve fotografii k hodnocení účinků světla na citlivou vrstvu, v chemii k určení světelné absorpce roztoků i jako čidla v regulačních obvodech. Fotometr využívá zpravidla fotoelektrického jevu, kdy fotonka, fotodioda či fotonásobič převádí intenzitu osvětlení na elektrický signál. [8]

12. DOZIMETRIE

Dozimetrie se zabývá měřením aktivity zářičů a veličin charakterizujících interakci ionizujícího záření s prostředím, jeho monitorováním a usměrňováním rizik pro obyvatelstvo i pracovníky se zářením.

Během života člověka běžně obklopují zdroje tzv. ionizujícího záření, které jsou z valné většiny přírodního původu jako uran, radon, kosmické záření aj. Výjimkou ale nejsou ani průmyslové zdroje ionizujícího záření, které se používají především v medicíně, energetice, některých průmyslových aplikacích, výzkumu a ošetření památek a nesmíme opomenout ani možnosti vojenského použití. [9]

13. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Ionizující záření je souhrnné označení pro záření, jehož kvanta mají energii postačující k ionizaci atomů nebo molekul ozářené látky. Za energetickou hranici ionizujícího záření se obvykle považuje energie 5keV ($1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$; $5\text{keV} = 8,01 \cdot 10^{-16}$) pro:

- fotonové záření (X, γ)
- elektronové záření β^-
- α záření

S ohledem na charakter ionizačního procesu je možno ionizující záření rozdělit na přímo ionizující a nepřímo ionizující. Přímé ionizující záření je tvořeno nabitými částicemi (protony, elektrony, pozitrony). Nepřímé ionizující záření zahrnuje nenabitě částice (neutrony, fotony), které prostředí samy neionizují, ale při interakci s prostředím uvolňují sekundární přímo ionizující částice. Ionizace prostředí je zde tedy způsobena těmito sekundárními částicemi. Vznik ionizujícího záření souvisí se strukturou atomů a jejich jader. [10]

K měření jeho účinků se používají tyto jednotky:

- **Coulomb** - expozice (dříve dávka záření) se dnes udává jako náboj, který získá 1 kg hmoty při průchodu ionizujícího záření. Jednotkou expozice je takové množství záření, které v 1 kg hmoty vyvolá náboj 1 coulomb (C/kg), jinak $6,28 \times 10^{18}$ elektronů. Expoziční rychlost je expozicí v jednotce času, tedy za sekundu.
- **Gray** - Absorbovaná dávka udává, jakou energii dodá záření při průchodu 1 kg hmoty. Jednotkou absorbované dávky záření, která dodá 1 kg hmoty energii 1 joulu (J/kg). Těto jednotce se říká Gray (Gy).
- **Sievert** - Dávkový (biologický) ekvivalent Sv. Tato jednotka je nutná, protože různá záření, která vyvolávají stejný fyzikální efekt, nemusí vyvolat stejný biologický efekt. Dávkový ekvivalent se rovná faktor kvality vynásobený absorbovanou dávkou. Poněvadž se faktor kvality u X, beta a gama záření rovná 1, je 1 Gy roven 1 Sv.

PŘÍRODNÍ ZÁŘENÍ	UMĚLÉ ZÁŘENÍ
Kosmické záření Sluneční záření Přírodní radioizotopy	Jaderné reaktory Lékařská zařízení (rentgeny, CT) Radioaktivní spad

Tabulka č. 3: Druhy ionizujícího záření [3]

14. INTEGRÁLNÍ DOZIMETRICKÉ METODY

Informace o přítomnosti ionizujícího záření poskytují detektory ionizujícího záření. V principu lze všechny detektory rozdělit do dvou základních skupin. Do první lze zařadit ty, které poskytují informaci o okamžité hodnotě ozáření detektoru, do druhé skupiny detektory, které poskytují konečnou informaci. První skupinu detektorů lze nazývat detektory kontinuální, druhou pak detektory integrální.

Mezi detektorem a dozimetrem je přímý vztah. Detektor je schopen indikovat současné či minulé ozáření. Dozimetr je detektor upravený tak, aby poskytoval údaj o ozáření ve zvolené dozimetrické veličině.

Jako integrální dozimetrický prvek může sloužit řada různých materiálů. Při průchodu ionizujícího záření prostředím dochází k interakci mezi nimi a část energie ionizujícího záření se předává ozařovanému prvku. Podle charakteru vyvolaných změn se volí způsob jejich vyhodnocení. To je kritériem pro dělení jednotlivých integrálních dozimetrických metod.

Je žádoucí, aby dozimetrický prvek byl dostatečně citlivý na ozáření daným druhem záření. Při jejich použití se dělí na dvě skupiny. Měřené ionizující záření vyvolává změny přímo v dozimetrickém prvku nebo je použito pomocného materiálu, ve kterém detekované primární záření při interakci vyvolá sekundární záření, a to působí na vlastní dozimetrický prvek. Takto ozářené dozimetry se vyhodnocují v zařízeních k tomuto účelu upravených. Některé dozimetry před vlastním vyhodnocením vyžadují ještě přídavné operace (vyvolání filmu, leptání fólie apod.). Takto ozářený, případně zpracovaný dozimetr se vyhodnotí nejčastěji v elektronickém vyhodnocovacím zařízení.

Typickými reprezentanty integrálních dozimetrů jsou však stále takové prvky, které jsou založeny na přímých radiačních změnách, jako je například zčernání filmu, vznik poruch v mřížce dozimetrů pevné fáze a podobně.

Podle způsobu vyhodnocení lze integrální dozimetrické metody rozdělit podle několika hledisek:

- 1) Ozářený vzorek emituje část energie sdělené vzorku ionizujícím zářením (aktivační detektory, lyoluminiscence)
- 2) Ozářený vzorek emituje záření jen při opětném dodání energie z vnějšího zdroje (termoluminiscenční, radiofotoluminiscenční dozimetry)
- 3) Ozářený vzorek změní signál z vnějšího zdroje (změna optické hustoty filmu, zabarvení skel)
- 4) Ozářený vzorek změní svoji fyzikální veličinu – odpor, náboj, polarizaci (Si dioda, elektrety)
- 5) Ozářený vzorek se vyhodnotí jinými způsoby (počítání stop, délky stop)

Jednotlivé druhy integrálních dozimetrů jsou založeny na různých fyzikálních či fyzikálně chemických procesech. U některých dozimetrických prvků výstupní informace při vyhodnocování mizí a dozimetr lze zpětně použít. U jiných pak, i když informace při odečítání nezmizí, lze ji přídatnou operací po odečtení odstranit. Některé dozimetry již nelze opětně použít, protože informace o ozáření je trvalá. Sem patří ozářený a vyvolaný fotografický film nebo stopové detektory. V této třetí skupině jsou zastoupeny metody, u kterých bylo použito mezi zpracovatelské operace před vlastním odečtením ve vyhodnocovacím zařízení.

Hodnocení výhod a nevýhod integrálních dozimetrů se provádí podle několika hledisek:

- 1) Zjištění, pro jaký druh ionizujícího záření je daný integrální dozimetr použitelný. Neexistuje totiž dozimetrický prvek stejně citlivý ke všem druhům ionizujícího záření. Na druhé straně je někdy kladen požadavek, aby dozimetrický prvek byl citlivý jen k jednomu druhu záření a na jiný druh reagoval zanedbatelně. Obecně lze však říci, že každý prvek je citlivý ke všem druhům ionizujícího záření, avšak jednotlivé citlivosti se liší i o několik řádů.
- 2) Požadavek energetické nezávislosti odezvy dozimetru. Uvedený požadavek vystupuje do popředí kupříkladu u dozimetrů kalibrovaných v dávce. Jde o to, aby odezva dozimetru na daný druh záření byla nezávislá na jeho energii pro stejnou hodnotu dávky.

- 3) Široký rozsah měření hodnot dané dozimetrické veličiny v lineární oblasti. Často se požaduje možnost měření v rozsahu i šesti řádů.
- 4) Nezávislost odezvy integrálního dozimetru na dávkovém příkonu.
- 5) Z dozimetrického hlediska je třeba zvolený indikační prvek posoudit též s ohledem na možnost dlouhodobého uchování informace o ozáření. Vyžaduje se, aby dozimetr měl nízký únik či pokles uložené informace o ozáření s časem.

Výše uvedené aspekty nejsou jedinými požadavky na integrální dozimetry. Závažná vlastnost, která se sleduje u všech integrálních dozimetrů je fading (únik či pokles uložené informace o ozáření s časem). Hlavní vlivy způsobující fading jsou zvýšená teplota, vlhkost a složení atmosféry.

Stejně důležitou sledovanou vlastností integrálních dozimetrů je energetická závislost odezvy. Energetická závislost filmového materiálu je velmi výrazná v oblasti nízkých energií. Se zvyšující se energií detekovaného záření klesá citlivost asi o jeden řád.

V praxi existují mnohé další. Jedním z nich je například rozměr dozimetru. Je nasnadě, že dozimetr musí být mechanicky odolný, nezávislý na teplotě, tlaku a musí odolávat běžným agresivním chemickým vlivům. Nezanedbatelným aspektem je i cena dozimetru. [9]

14.1. Radiofotoluminiscenční dozimetry

Radioluminiscenční dozimetry se řadí mezi pevnolátkové dozimetry s radiačně vzniklými centry, které zůstávají při vyhodnocování stabilní. Neozářená pevná látka není luminiscenční. Ozáření ionizujícím zářením může v ní vyvolat kvazi stabilní luminiscenční centra. Pevná látka, ve které vzniknou taková centra, po excitaci viditelným nebo UV světlem je absorbuje a emituje fluorescenční záření, aniž by došlo ke zrušení těchto vzbuzených center. Emitované fluorescenční světlo má delší vlnovou délku než excitující světlo. Fluorescenční záření je vysíláno po dobu excitace. Intenzita fluorescenčního záření závisí na množství center vzniklých ionizujícím zářením. Tak vzniká název radio – foto – luminiscence, což má vyjádřit, že radiační účinky ve vzorku látky dají vznik centrům, která jsou fotostimulací zdrojem luminiscenčního světla.

Při studiu účinků ionizujícího záření na pevné látky bylo zjištěno, že pevné roztoky stříbrných solí v iontových krystalech a některých druzích skel, vykazují luminiscenci v oranžové oblasti viditelného spektra, jestliže je sklo ozářeno rtuťovou lampou s vlnovou délkou 365 nm. Již ve čtyřicátých letech minulého století vzniklo první radiofotoluminiscenční metafosfátové sklo. Vzhledem k nízké citlivosti (0, 1 Gy) a dalším nevýhodám, nedošlo k jeho masovému rozšíření. Později došlo k dalším zlepšením dozimetrických vlastností a k teoretickému rozpracování modelu RPL. Přesto se radiofotoluminiscenční systém v dozimetrii nerozšířil, ve srovnání s TLD. Lze říci, že v současné době se pro RPL používají převážně fosfátová skla, u kterých se poruchy v krystalové mřížce vytvářejí uměle pomocí iontů stříbra. Elektronů, vzniklé ionizací při interakci ionizujícího záření se sklem, se zachycují na zmíněných poruchách, ve kterých jsou vázány coulombovskými silami. Hovoří se o vzniku radiofotoluminiscenčního centra. Bylo naměřeno, že absorpční a emisní vlastnosti ozářeného skla se liší od neozářeného skla.

Dozimetrické sklo, které nebylo vystaveno účinkům ionizujícího záření, má excitační luminiscenční maximum asi na 240 nm a emisní luminiscenční spektrum má maximum na 370 nm. Sklo ozářené ionizujícím zářením má absorpční maximum (excitační) na 330 nm. Ozáří – li se takové sklo UV světlem (maximum na 365 nm), dochází k emisi RPL světla v oblasti vlnových délek od 500 do 700 nm s maximem na 640 nm. Vzhledem k vlnové délce stimulujícího UV světla se používají filtry, které kratší vlnové délky nepropustí.

Typickým jevem u RPL dozimetrů je, že intenzita RPL světla po ozáření ionizujícím zářením nejprve vzrůstá a až po určité době začíná vlivem fadingu klesat (únik či pokles uložené informace o ozáření s časem). Uvedený jev závisí na složení skla, množství stříbra v něm a na teplotě, které je dozimetr vystaven. Bylo prokázáno, že vyšší obsah Ag zkracuje dobu počátečního nárůstu, dozimetr je citlivější, avšak vzrůstá hodnota fadingu. Je možno najít složení skla, u kterého je citlivost vyhovující a nárůst se ustálí po jedné hodině po ozáření a informace je uchována po několik let. [9]

14.1.1. Způsob vyhodnocení RPL dozimetrů

Jak již bylo řečeno, vlastní dozimetrické sklo se při vyhodnocování musí ozářit ultrafialovým světlem. Jako zdroj UV světla se běžně používá vysokotlaká rtuťová lampa. Vykazuje maximum světla o vlnové délce 365 nm. Světlo prochází optikou

a filtrem propouštějícím pouze excitující záření. Světelný paprsek dopadá na skleněný dozimetr uložený ve vhodném držáku. Ve směru kolmém na budící svazek UV světla se odebírá RPL světlo, které dopadá na fotokatodu fotonásobiče se spektrální citlivostí v oranžové a červené oblasti. Před fotokatodu se vkládá filtr, který má zabránit dopadu rozptýleného UV světla na fotokatodu. Proud fotonásobiče se zesílí a výstupní signál udává úroveň měřené dozimetrické veličiny. Vzhledem k tomu, že se měří luminiscenční záření emitované z dozimetru, vyhodnocovací zařízení RPL dozimetrů je ve své vyhodnocovací části analogií zařízení popsaného u TLD.

Filmové dozimetry, termoluminiscenční dozimetry a radiofotoluminiscenční dozimetry jsou nejužívanější pro oblast fotonového záření a záření beta. U RPL dozimetrů se objevuje sublinearita asi u 100 Gy. Je však použitelný v rozsahu několika řádů. Dolní práh měřitelnosti je pod hodnotou mGy. Změna odezvy RPL dozimetru nebyla zjištěna v rozmezí dávkových příkonů od $10 \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ do $10^3 \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1}$. Energetická závislost RPL skel vykazuje zvýšení citlivosti na v oblasti s energií 40 – 50 keV. [9]

14.2. Filmové dozimetry

Využití filmového materiálu pro dozimetrii ionizujícího záření je založeno na analogickém principu jako světelná fotografie. Ve filmovém materiálu po ozáření vzniká latentní obraz, který lze vyvoláním zviditelnit. Změna zčernání, lépe řečeno změna optické hustoty vyvolaného filmového materiálu může sloužit jako míra ozáření. Nejčastěji se používá filmová metoda pro záření gama, rentgenovo záření, záření beta a tepelných neutronů.

Vyhodnocení ozářených a vyvolaných filmů se provádí fotometricky v rozsahu optických hodnot od $D = 0$ do $D = 6$. To závisí na typu použitého denzitometru. Denzitometr je optický přístroj, ve kterém světelný paprsek dopadá na filmový materiál. Paprsek je absorbován úměrně optické hustotě měřeného filmu. Po průchodu filmem dopadá na fotočlánek, jehož výstupní signál je dále zpracován.

Filmy se označují vyražením číselného kódu (měsíc, pracoviště, pracovník). U dozimetrů, kde dávka překračuje hodnotu 4 mGy se hodnotí i druh energie a záření, směr ozáření apod. [9]

14.3. Termoluminiscenční dozimetry

Luminiscence vyjadřuje emisi optického záření z látek. Luminiscenční látky, luminofoxy, mohou absorbovat energii, část této energie si uchovat a přeměnit ji na světelné záření, které látka vyzáří. Fluorescence a fosforescence jsou formy luminiscence, související s časem následné emise světla, nezávisí však na způsobu excitace látky. Fluorescence je nezávislá na teplotě, kdežto fosforescence je urychlována vzrůstem teploty.

Termoluminiscenční jev se vyskytuje téměř výlučně u látek dielektrických, tedy u izolátorů. Různé minerály a materiály emitují při zahřátí světlo různé barvy. Vlnová délka emitovaného světla závisí na druhu použité látky. Této skutečnosti je třeba přizpůsobit spektrální citlivost detektoru termoluminiscenčního světla.

Vlastnosti termoluminiscenčních materiálů se hodnotí podle vyhřívací termoluminiscenční křivky. Křivka udává množství luminiscence v závislosti na teplotě či čase vyhřívání. Dalším kritériem pro hodnocení TL dozimetrů je závislost TL odezvy na dávce. [9]

14.4. Ionizační integrální dozimetry

Při průchodu ionizujícího záření plynem dochází k vytváření párů iontů, které jsou elektrostatickým polem přitahovány na elektrody s opačným elektrickým nábojem. Na tomto principu jsou navrženy a vyráběny různé modifikace ionizačních integrálních dozimetrů. Ionizační metoda je velmi citlivá detekční metoda, neboť dovoluje detekovat i jednotlivé částice.

Mimo ionizační integrální dozimetry, jejichž konstrukce je založena na teorii ionizace v dutině, se v hojné míře používají ionizační integrální dozimetry, nebo spíše indikátory, jejichž odezvu na ozáření nelze přesně vypočítat, nýbrž je ji nutno odečíst z cejchovní křivky. Takové indikátory jsou kalibrovány v dané dozimetrické veličině. Mezi ně patří hojně rozšířený průhledný indikátor expozice nebo dávky ve vzduchu.

Průhledový samoodečítací ionizační integrální dozimetr tužkového tvaru je velmi rozšířeným typem osobních dozimetrů. Jeho velkou předností je, že sám uživatel se může během své práce v prostředí s ionizujícím zářením dozimetricky kontrolovat. [9]

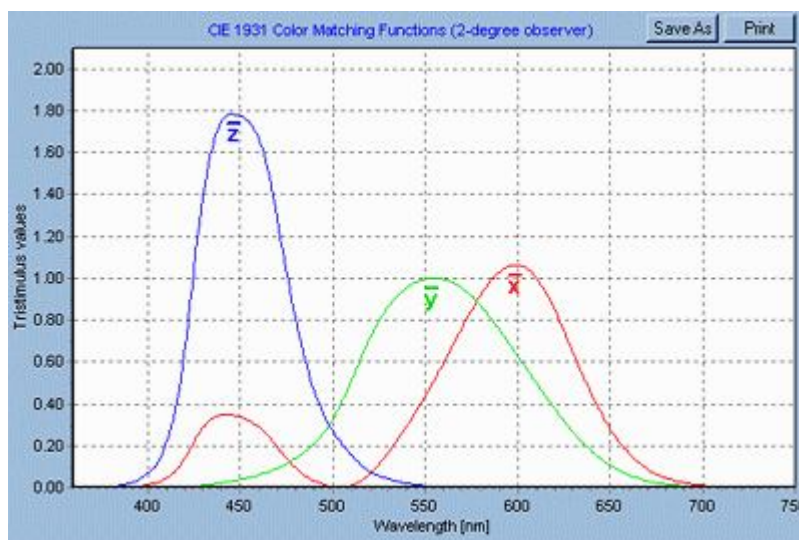
15. SYSTÉM MĚŘENÍ BAREV PODLE CIE

K hodnocení barev se nejčastěji používá systém definovaný v roce 1931 mezinárodní komisí pro osvětlení CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), který byl později doplněn a rozšířen. Systém, někdy označovaný také jako trichromatická soustava, je založen na skutečnosti, že vjem jakékoliv barvy je možné simulovat pomocí tří vhodně zvolených základních světél. Systém je definován hodnotami trichromatických členitelů $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$, které byly získány experimentálně.

Vizuální vnímání barev je zprostředkované třemi receptory se spektrální citlivostí ke krátkým, středním a dlouhým vlnovým délkám a je zhruba u 90 % populace shodné.

Byla provedena řada experimentů, při kterých měli nezávislí pozorovatelé pomocí míšení tří barevných světél modelovat barvu referenčního zdroje. Tyto testy prokázaly, že výsledné receptury jednotlivých pozorovatelů byly velmi podobné.

Z výsledků získaných u skupiny 17 britských pozorovatelů byl stanoven průměr a definovány tzv. trichromatické členitelé (color matching functions) standardního pozorovatele. Trichromatické členitelé vyjadřují množství červeného, zeleného a modrého stimulu, které je potřeba k simulaci jakékoliv vlnové délky viditelného spektra. [11]



Obrázek č. 3: Trichromatické členitelé x , y , z [11]

Trichromatičtí členitelé tvoří základ trichromatické soustavy CIE a umožňují stanovit množství jednotlivých měrných světél X, Y, Z potřebných k simulaci dané barvy, které ji matematicky charakterizují. Trichromatičtí členitelé na obrázku byly odvozeny pro podmínky foveálního vidění – tj. zorný úhel 2°, zkráceně se někdy také označují pojmem 2° pozorovatel.

16. VÝPOČET MNOŽSTVÍ IMAGINÁRNÍCH MĚRNÝCH SVĚTEL X, Y, Z

16.1. Emisní vzorky

Každou barvu je možné napodobit aditivním míšením měrných světél R, G, B. Pro emisní vzorky se jejich množství stanoví integrací součinu emisního spektra a trichromatických členitelů. Výsledné hodnoty X, Y, Z se nazývají trichromatické složky a jsou dány vztahy:

$$X = \sum_{\lambda=360nm}^{\lambda=780nm} S_c(\lambda)x(\lambda)$$

$$Y = \sum_{\lambda=360nm}^{\lambda=780nm} S_c(\lambda)y(\lambda)$$

$$Z = \sum_{\lambda=360nm}^{\lambda=780nm} S_c(\lambda)z(\lambda)$$

X, Y, Z..... trichromatické složky

$S_c(\lambda)$ spektrální rozložení intenzity světelného zdroje

$x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ trichromatičtí členitelé

16.2. Reflexní vzorky

Protože reflexní vzorky nejsou aktivními zdroji záření, vypočítají se trichromatické hodnoty součinem trichromatických členitelů, reflexního spektra vzorku a emisního spektra světelného zdroje, kterým je vzorek ozařován:

$$X = \sum_{\lambda=360nm}^{\lambda=780nm} S_c(\lambda)R(\lambda)x(\lambda)$$

$$Y = \sum_{\lambda=360nm}^{\lambda=780nm} S_c(\lambda)R(\lambda)y(\lambda)$$

$$Z = \sum_{\lambda=360nm}^{\lambda=780nm} S_c(\lambda)R(\lambda)z(\lambda)$$

X, Y, Z..... trichromatické hodnoty

$S_c(\lambda)$ spektrální rozložení intenzity světelného zdroje

$x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ trichromatické členitelé

$R(\lambda)$ reflexní spektrum vzorku

Protože barevný prostor X, Y, Z není příliš intuitivní a vyjádření odchylek mezi 2 barvami také není bezproblémové, často se trichromatické hodnoty dále matematicky transformují, tak aby jejich interpretace byla snazší. Například je možné definovat zvlášť kvantitu a kvalitu barvy vyčíslením chromatičnosti:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Platí, že $x + y + z = 1$, proto je možné jakékoliv dvě souřadnice použít k vykreslení dvou dimenzionálního grafu, kde vzdálenost dané barvy od neutrální šedé určuje čistotu barvy a dominantní vlnová definuje linie s přibližně konstantním barevným odstínem.

17. BAREVNÝ PROSTOR CIEL^{*}a^{*}b^{*}

V dnešní době se spíše provádí konverze X, Y, Z trichromatických hodnot do prostoru CIELUV nebo CIELAB, které více odpovídají způsobu vnímání barev lidským okem. Tyto prostory se často označují přívlastkem uniformní, který vyjadřuje, že číselné hodnotě barvové odchylky odpovídá stejný vizuální počitek bez ohledu na polohu barvy v barevném prostoru.

Prostor CIELAB je definován následovně:

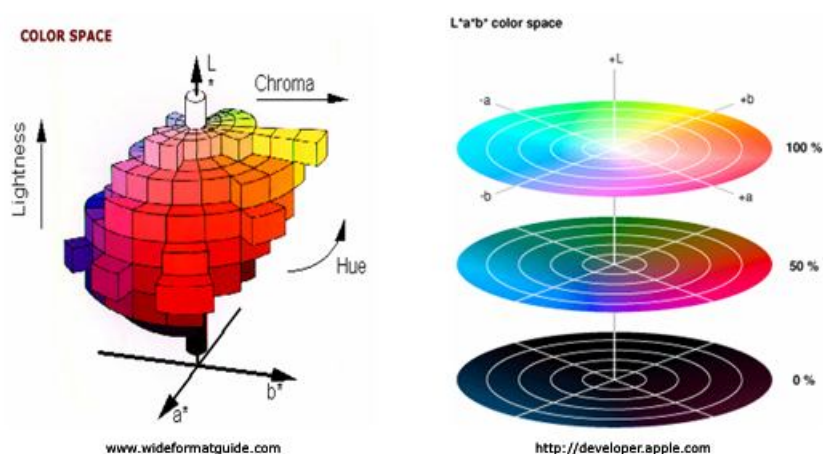
$$L^* = 116 \left(Y / Y_n \right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(X / X_n \right)^{1/3} - \left(Y / Y_n \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(Y / Y_n \right)^{1/3} - \left(Z / Z_n \right)^{1/3} \right]$$

X_n, Y_n, Z_n jsou trichromatické hodnoty referenční bílé barvy ($X_n = 96,422$; $Y_n = 100$; $Z_n = 82,521$).

Schematicky je barevný prostor CIELAB znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek č. 4: Schematické znázornění prostoru L^{*}a^{*}b^{*} [11]

Jedná se o třídimenzionální prostor, který je charakterizován třemi navzájem kolmými osami – L^* , a^* , b^* . Osa L^* vyjadřuje jak je barva světlá. Souřadnice a^* , b^* definují barevný odstín. Osa a^* reprezentuje červeno – zelené odstíny, osa b^* žluto – modré.

Barevný model $L^*a^*b^*$ je analogický se způsobem jakým barvy vnímáme. Ačkoli jsou v oku tři druhy čípků citlivé ke krátkým, středním a dlouhým vlnovým délkám, nejsou do mozku přenášeny přímo signály R, G, B, jak by se mohlo zdát. V gangliových buňkách dochází k jejich zpracování – zakódování do signálu červeno – zeleného, žluto – modrého a achromatického (jasového). Charakterizace barev v barevném prostoru $L^*a^*b^*$ pomocí červeno – zelené, žluto – modré a jasové složky je tak podobná způsobu zpracování barevné informace okem. [11]

18. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ BAREVNÉ DIFERENCE

Objektivní stanovení celkové barevné difference nebo jejich složek umožňuje řešit na společném základě řadu praktických problémů. Například shodu předlohy a vybarvení - posudky PASS/FAIL, kontrolu stálosti vybarvení a equality vybarvení. Vizuální hodnocení barevných diferencí je silně závislé na celé řadě subjektivních faktorů a je proto nespolehlivým zdrojem informací a přesném charakteru získaného vybarvení nebo jeho změn. [12]

19. POSUDKY PASS/FAIL

Vzhledem k proměnným technologickým podmínkám (přeprava a kvalita materiálu, vody...) nelze požadovat od provozního barvení nulovou odchylku vybarvení od předlohy. [13]

- 1) **Pomocí šedé stupnice** – není – li k dispozici přístrojové vybarvení, užívá se na hodnocení kvality vybarvení
Nevýhody - převod barevné difference na diferencí šedou (achromatickou) je závislý na interpretaci pozorovatele
- horší kvalita a stálost šedých stupnicí
- 2) **Stanovením toleranční odchylky ΔE_{tol}** – toleranční odchylky můžeme počítat z rovnic $\Delta E_{CIE Lab}$, $\Delta E_{CMC(1:C)}$
- 3) **Stanovením statistického rozboru větší série** – musí být k dispozici minimálně 2000 párů předloha – vzorek

20. OBJEKTIVNÍ VYJADŘOVÁNÍ EGALITY

Ke stanovení equality lze použít i měření barevných diferencí a vyjádřit ji objektivně v hodnotách barevné difference.

- 1) Pravidelná neegalita (např. rozdíly mezi středy a kraji) - třeba vypočítat průměry barevných diferencí z vhodně zvolených párů měřených míst nebo ze všech míst obou druhů
- 2) Náhodná neegalita - je třeba proměřit mnoho míst a střední barevnou diferencí vyjádřit vztahem [12]

21. HODNOCENÍ STÁLOSTI VYBARVENÍ

Se zavedením přístrojového hodnocení stupně zapouštění se hodnotí změna odstínů zkoušeného vzorku. Změny odstínu jsou mnohem menší než vizuálně vnímané změny při zapouštění do doprovodné tkaniny, používá se odlišné šedé stupnice. Také je důležité, aby se přístrojově stanovené stálostní stupně shodovaly s průměrnými vizuálními stupni velkého počtu hodnotitelů.

Stejně jako u metodiky pro hodnocení stálosti v zapouštění do doprovodné tkaniny je i přístrojová metoda pro hodnocení změny odstínu prozatím pouze alternativou vizuálního posuzování. [12]

22. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA BARVIV

Barviva jsou charakterizována svou schopností absorbovat viditelné elektromagnetické záření ve vlnovém rozsahu 380 - 780 nm. Pro intenzivní vybarvení substrátu (např. textile) musí mít barvivo dostatečně velké absorpční koeficienty ($10000 - 40000 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Ani tato vlastnost ovšem z barevné látky neučiní barvivo. Konstituce barviva musí být taková, aby barvivo mělo k substrátu, dále pak dobrou stabilitu v praní, otěru a rovněž dobrou světlostálost. Zdravotní neškodnost je samozřejmostí.

Nejvíce barviv se používá k vybarvování textilních vláken rostlinného a živočišného původu (bavlny, lnu, vlny, hedvábí), dále k barvení vláken z regenerované celulózy a chemických vláken.

Rozmanitost použití je příčinou, že existují různé způsoby vybarvování a fixování barviv na materiál.

K vybarvování vláken se používá hlavně barviv rozpustných ve vodě (buď přímo, nebo tím, že se převedou na rozpustné deriváty), a které mají schopnost se fixovat na vybarvovaném materiálu. Pro barvení chemických hydrofobních vláken (vlákna acetátová, polyesterová) se používá ve vodě málo rozpustných barviv ve formě disperze (disperzní barviva). Pro speciální způsoby barvení (barvení vláken z regenerované celulózy nebo chemických vláken ve hmotě) se používají ve vodě nerozpustné pigmenty ve formě jemných disperzních suspenzí.

Základní klasifikace barviv v češtině je trochu složitá, neboť v angličtině existuje pojem *Colorants* (což bychom mohli přeložit asi jako barvidla), která se dělí na *Dyes* (barviva) a *Pigments* (pigmenty). Náš pojem barviva zahrnuje ovšem i pigmenty. Pigmenty tvoří samostatnou skupinu pro svou charakteristickou vlastnost – jsou naprosto nerozpustné jak ve vodě, tak i v organických rozpouštědlech. Jedná se o barevné sloučeniny, které nemají žádné solubilizační skupiny (pigmenty) anebo se jedná o nerozpustné soli rozpustných kyselých barviv (laky). Naproti tomu barviva (*dyes*) se při barvení substrátu aplikují z kapalného prostředí, ve kterém jsou zcela nebo částečně rozpustná (barviva disperzní). [13]

23. TEXTILNÍ VLÁKNA

Předpokladem pro to, aby se látka stala barvivem, je její schopnost vázat se na vlákno. Proto je chemická a fyzikální struktura vlákna při barvicím procesu stejně důležitá jako konstituce barviva.

Každé textilní vlákno se skládá z řetězových, určitým způsobem uspořádaných makromolekul. V některých oblastech je toto uspořádání zvláště pravidelné a husté (tzv. krystalinity nebo micely). Micely někdy tvoří paralelně spojené útvary, které se nazývají mikrofibrily. Vedle těchto oblastí jsou ve vláknech i amorfni oblasti, kde jsou molekulové řetězce neuspořádané. Čím více je krystalinických oblastí ve vláknech a čím více jich je orientováno ve směru vlákna, tím je vlákno pevnější. Zatímco u přírodních vláken nelze tento poměr měnit, v syntetických vláknech je možno jejich poměr zvětšovat vhodnou orientací vlákna. Podíl krystalinických a amorfni oblastí je velmi důležitý při barvení, protože příliš kompaktní uspořádání krystalinických oblastí neumožní proniknutí barviva, kdy barvivo je schopné proniknout pouze do amorfni částí.

Vlákna se od sebe liší svým chováním ve vodě. Zatím platí, že přírodní vlákna jsou hydrofilní (nasávají velké množství vody), tím zvětšují svůj objem a tak se vzdalují krystalinická a amorfní centra, což umožňuje snadnější barvení. Syntetická vlákna jsou hydrofobní, takže jejich barvení z vody je o něco obtížnější. [13]

24. FIXACE BARVIV NA VLÁKNO

Barvivo se k vláknu váže různými způsoby:

- 1) pomocí fixujících látek
- 2) rozptýlením barviva v surovině před předemím (barvení syntetických vláken ve hmotě)
- 3) tvorbou barviv přímo na vlákně
- 4) převedením barviva z roztoku na vlákno, kde se barviva mohou fixovat všemi druhy vazebných interakcí: Van der Waalsovy síly, H – můstky, iontová vazba, koordinační vazba, kovalentní vazba (seřazeno podle stoupající síly vazby)

Barvení pomocí fixujících látek patří k nejstarším barvicím postupům. Barvivo (lépe řečeno pigment) se přilepí na vlákno. Dnes se jako fixující činidlo používají syntetické, teplem vytvrzované pryskyřice. Výhodou tohoto postupu využívaného především v tisku je možnost používat barviv s libovolnou afinitou k vláknu. Rovněž mokré stálosti jsou vynikající. Naopak menší jsou stálosti v otěru.

Dalším pigmentovým barvením je barvení ve hmotě. Jemně umletý pigment se rozmíchá do suroviny před spřádáním.

25. STÁLOSTI BARVIV A JEJICH HODNOCENÍ

Technický a praktický význam mají pouze ta barviva, která poskytují vybarvení dostatečně stálá vůči různým fyzikálně - chemickým vlivům okolí.

Stálosti je možno rozdělit na:

- 1) technologické, kdy vybarvení je vystavováno vlivu různých parametrů v průběhu dalšího zpracování obarvené textilie při výrobě. Patří sem např. stálobarevnost v krabování, paření, bělení, plisování, valchování, vyvářka, vulkanizace, atd.

- 2) spotřebitelské, kde hodnocení je prováděno za podmínek, které imitují vlivy, kterým je vybarvení vystaveno při běžném používání konečným spotřebitelem vybarvené textilie. Sem patří především stálobarevnost v praní, na světle, v chemickém čištění, potu, žehlení, chlorované plovárenské vodě, při potřísnění vodou atd.

Stálost vybarvení se hodnotí podle přesně definovaných norem - v ČR podle norem ČN, které odpovídají příslušným ISO normám.

Podmínky zkoušek jsou voleny tak, aby co nejbližší odpovídaly obvyklému zpracování ve výrobě a podmínkám obvyklého používání. Po provedení zkoušky se hodnotí u vzorku změna sytosti, odstínu a brilance vybarvení ve srovnání se vzorkem před zkouškou. Změna sytosti se hodnotí pomocí 5 – ti členné šedé stupnice pro změnu odstínu definované rovněž normou, kde stupeň 5 se přiřadí vzorku, který zůstává beze změny (maximální stálost), a směrem ke stupni 1 (nejmenší stálost) se zvyšuje barevná difference mezi původním vzorkem a vzorkem podrobeným zkoušce.

V řadě případů, např. při hodnocení stálobarevnosti v praní, se hodnotí i zapouštění do doprovodných tkanin, které vytvářejí s hodnoceným vzorkem tzv. sdružený vzorek. Doprovodné tkaniny bývají většinou dvě – jedna ze stejného materiálu jako hodnocený vzorek (např. bavlna), složení druhé tkaniny je dáno normou. Kvalita doprovodných tkanin je rovněž normována a jsou dodávány specializovaným výrobcem. Zapouštění do doprovodných nebarvených tkanin je hodnoceno pomocí 5 – ti členné šedé stupnice pro zapouštění, stupeň 5 – nezapouští, stupeň 1 – maximální zapouštění. Šedé stupnice jsou používány i pro hodnocení světlostálosti při určování změn při expozici. Samotná stálobarevnost na světle je však vyjadřována pomocí osmičlenné modré stupnice.

Hodnoty všech stálobarevností jsou tedy vyjadřovány stupni 5 až 1, vyjma stálobarevnosti na světle a v povětrnosti, kde jsou stupně 8 (maximální stálobarevnost) až 1 (minimální světlostálost).

ISO test na světlostálost barviv spočívá v tom, že barvivem vybarvený substrát je dlouhodobě ozařován xenonovou lampou, která emituje záření svým spektrálním složením hodně podobné záření slunečnímu, ale podstatně silnějším co do intenzity záření. Vzorek je ozařován současně s tzv. modrou stupnicí, což je vlna vybarvená souborem osmi modří. Stupnice je tudíž od hodnoty 1 (nejnižší světlostálost) do hodnoty 8 (nejvyšší světlostálost). [13]

26. SMART MATERIÁLY

Materiál výrazně reagující na vnější podněty má jednu nebo více vlastností (tvar, vodivost, barva, viskozita), které mohou být výrazně a vratně měněny změnou vnějších podmínek. Tyto vlastnosti reagující na vnější podněty (teplo, mechanické napětí, elektrické pole, světlo) určují způsob využití daného smart materiálu. Smart materiálem se často rozumí struktura složená z více materiálů, která je schopná požadovaným způsobem měnit své vlastnosti. [14]

Smart materiály mají následující charakteristické rysy:

- 1) Reakce na vnější podnět nastává v reálném čase
- 2) Změny vlastností jsou přímou reakcí na vnější podnět, není zde žádný vnější řídicí systém, který by změny vyvolal
- 3) Materiál může vratně přecházet mezi více stavy v závislosti na specifickém stavu okolí
- 4) Odezva na vnější podněty je diskrétní a předvídatelná
- 5) Odezva nastává lokálně v místě vnějšího podnětu

27. FOTOCHROMISMUS

Fotochromismus je změna barvy způsobená absorpcí fotonů nebo UV záření. Při tomto jevu se tedy vystavením vzorku záření určité vlnové délky mění absorpční spektrum molekuly nebo krystalu. Bezbarvá látka A se po ozáření UV zářením stane barevnou sloučeninou B, která může být absorpcí viditelného záření nebo teplem převedena zpět na látku A. [15]

Využití:

- a) dozimetrické materiály
- b) dekorativní nátěry
- c) výroba samozatmívacích brýlí
- d) optická záznamová média
- e) záznamové mikrofilmy

Pět základních fotochromatických organických sloučenin:

- **Spirobenzopyrany** – na bázi spiropyranového kruhu je založena řada odvozených sloučenin. Pyranový kruh je obvykle substituován benzo nebo naftopyrany, heterocyklická část se skládá z velkého množství cyklických systémů. Forma otevřeného řetězce je tepelně nestabilní.
- **Spironaftooxaziny** – jsou odolné proti fotodegradaci. Tato odolnost je podstatnou vlastností těchto fotochromních materiálů, které jsou konstruované pro aplikace oblasti ochranných materiálů proti UV záření.
- **Naftopyrany** – vykazují malé nebo žádné fotochromní chování.
- **Fulgidy** – u těchto sloučenin nebyla objevena tepelně evokovaná reverzace barevné formy na bezbarvou formu.
- **Diaryleteny** – pokud je tento typ fotochromních látek exponován monochromatickým světlem o vybraných vlnových délkách dochází k reverzibilní přeměně z bezbarvého stavu do barevného stavu. [16]

27.1. Reverzibilní fotochromismus

Reverzibilní (vratný) fotochromismus je vlastnost měnit barvu po vystavení slunečnímu záření. Tento efekt se může opakovat donekonečna, ale teplem může být zničen. [15]

27.2. Ireverzibilní fotochromismus

Ireverzibilní (nevratný) fotochromismus je jev, při kterém nastává trvalá barevná změna. Ta může nastat z průhledna do barevna a naopak nebo mezi barvami. [15]

Využití:

- 1) měření stupňů při UV formování polymerů
- 2) ochrana před popálením sluncem
- 3) ochranná zařízení pro dokumenty k odrazení padělatelů

27.3. Fotochromní materiály

Fotochromní materiály mění optické vlastnosti při změnách intenzity a vlnové délky dopadajícího světla. Absorpce světla vyvolá vratný přechod materiálu do jiného energetického stavu s odlišnými optickými vlastnostmi. Stavy materiálu odpovídající různému osvětlení mají odlišnou strukturu nebo rozložení elektronů mezi energetickými hladinami v materiálu.

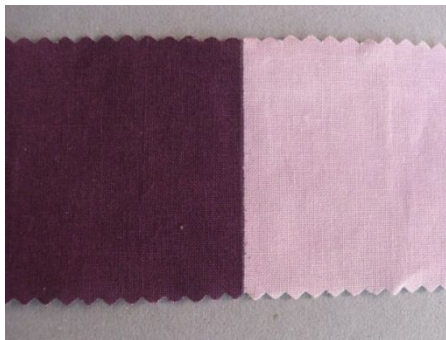
- a) **Fotochromní skla** – optické vlastnosti barevných center v alkalických halogenidech, fotochromní vlastnosti barevných center, optické vlastnosti skel dopovaných fotocitlivými mikrokristaly halogenidů stříbra a mědi, mechanismus fotochromního chování a technologie výroby těchto skel.
- b) **Fotochromní barviva** – po dobu ozáření světlem určitých vlnových délek dochází ke změně struktury molekul barviva a tím ke změně reflektivity nebo propustnosti v určité oblasti vlnových délek viditelného spektra. Fotochromní změny optických vlastností naftopyranu.
- c) **Komerční využití** – fotocitlivá skla s propustností závislou na intenzitě ultrafialového nebo viditelného světla ve slunečních brýlích a okenních výplních k úpravě intenzity osvětlení, fotochromní barviva přidávána do barev, inkoustů a materiálů tvarovaných lisováním, fotochromní barvy na dekorativní vzory tkanin měnící barvu při osvětlení. [15]

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1. PŘÍPRAVA VZORKŮ

Příprava vzorků byla provedena technikou sítotisku dvěma stěry s přitlakem $3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ na tiskacím stroji Johannes Zimmer, typ mini MDF/752 na bavlněném plátně pigmenty VERSAPRINT® a Photopia®.

Celkem bylo vyrobeno 20 vzorků dvou druhů a sice; 10 fialových a 10 modrých, všechny o rozměrech $12 \times 6 \text{ cm}$. Plocha každého vzorku byla následně rozdělena na dvě poloviny, z nichž první byla potištěna standardním pigmentem VERSAPRINT® a druhá fotochromním pigmentem Photopia®.



Obrázek č. 5: Fialový vzorek [19]



Obrázek č. 5: Modrý vzorek [19]



Obrázek č. 6: Tiskací stůl Johannes Zimmer, typ mini MDF/752 [19]

Parametry použité tkaniny jsou následně přehledně vypsány:

materiál: 100% bavlna

úpravy: bělení, mercerace

šíře: 145 cm

vazba: plátno

plošná hmotnost: $145 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

dostava osnovy: 260 nití/ 10 cm

dostava útku: 220 nití/ 10 cm

Použité pigmenty – na první poloviny vzorků byly použity pigmenty VERSAPRINT® od firmy Synthesia v Pardubicích, která se používají pro textilní pigmentový tisk. Touto technologií se v současnosti potiskuje více než 50% všech textilií. Využívá se především kvůli jednoduchému použití, nízkým výrobním nákladům, univerzálnímu použití na různých materiálech a směsích vláken a bez nutnosti praní po tisku.

Pigmenty byly vybrány pro svou výbornou stálost, kapalnou formu a nerozpustnost ve vodě a v organických rozpouštědlech.

V níže uvedených tabulkách jsou receptury na fialový a modrý pigment použitý na standardní poloviny vzorků. Receptury jsou vypočítány programem Datacolor Match na základě změřených hodnot $L^*a^*b^*$ natištěného modrého i fialového fotochromního pigmentu. Uvedené receptury jsou třetí korekcí výpočtu. Ty se nejvíce blížily naměřeným hodnotám. Předchozí dvě receptury nemohly být použity, protože naměřeným hodnotám neodpovídaly.

VERSAPRINT

Standard	Photopia Purpur					
Batch	purple0					
Quality/Style 100.00	Cotton bleached					
Unit [%s]	g/kg					
Substrate (factor)	Cotton bleached /11 (1.00)					
Process (factor)	(1.00)					
Formula	CMC 2:1[D65]					
Type of dE	Modified	Modified	Modified		Theory	Theory
dE(CMC)	4.69	4.79	4.74		2.24	3.12
MetamerismA	3.97	4.01	4.16		0.84	3.59
MetamerismF11	8.60	8.67	8.54		0.29	8.72
Price						
Dyestuff	SmartMatch	Additiv	Multiply	Performance	Batch	Standard
Versaprint eervený G	5.8100	5.2905	5.3294	0.9146	4.4582	4.8744
Versaprint fialový B	5.4988	4.9869	5.2705	0.7680	3.1089	4.0479
Recipe with D65						
Standard with D65						
Standard with A						
Recipe with A						

Tabulka č. 4: Receptura na fialový pigment se zaškrtnutou použitou koncentrací na 1 kg [17]

VERSAPRINT

Standard	Photopia Blue UV					
Batch	blue0					
Quality/Style 100.00	Cotton bleached					
Unit [%s]	g/kg					
Substrate (factor)	Cotton bleached /11 (1.00)					
Process (factor)	(1.00)					
Formula	CMC 2:1[D65]					
Type of dE	Modified	Modified	Modified		Theory	Theory
dE(CMC)	1.68	2.09	3.66		0.00	0.01
MetamerismA	2.04	1.87	1.99		0.39	1.88
MetamerismF11	4.04	4.06	4.41		0.46	4.45
Price						
Dyestuff	SmartMatch	Additiv	Multiply	Performance	Batch	Standard
Versaprint žlutý R	0.0000	0.0000	0.0631	2.4350	0.3740	0.1536
Versaprint eervený G	0.0000	0.0000	0.0714	2.6045	0.4845	0.1860
Versaprint modrý 2B	2.2855	1.9459	1.9462	0.9871	1.8963	1.9211
Recipe with D65						
Standard with D65						
Standard with A						
Recipe with A						

Na 1000 g bylo přidáno 33 g komplexní akrylátové zahušťky a 1,5 g Versaprint žlutý R

Tabulka č. 5: Receptura na modrý pigment se zaškrtnutou použitou koncentrací na 1 kg [17]

Na druhé polovině vzorků byl použit fotochromní pigment Photopia® od firmy Matsui. Po natištění mají pigmenty jemné pastelové odstíny, ale po vystavení UV záření o vlnové délce 340 – 370 nm odstín během několika sekund zintenzivní.

Fialový fotochromní pigment

Na 500 g pigmentu bylo použito 400 g komplexní akrylátové zahušťky a 100 g pigmentu Photopia® Purple.

Modrý fotochromní pigment

Na 500 g pigmentu bylo použito 400 g komplexní akrylátové zahušťky a 100 g pigmentu Photopia® Blue.

Jako základ pro všechny čtyři pigmenty byla použita komplexní akrylátová zahušťka.

Po nátisku a následném zasušení na sušícím stole byly vzorky fixovány v sušící skříni. Teplota fixace pro pigmenty VERSAPRINT® byla 165°C a pro pigmenty Photopia® 75°C. Doba fixace pro pigmenty VERSAPRINT® i pro pigmenty Photopia® byla 5 minut. Teplota a doba fixace je pro použité pigmenty standardní.



Obrázek č. 7: Sušárna HS 122A [19]

2. SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Barevné rozdíly mezi standardní polovinou vzorku a fotochromní polovinou vzorku hodnotilo celkem 18 hodnotitelů ve věku od 18 do 57 let. Všichni hodnotitelé měli brýle s UV filtrem a ochranné rukavice, byla zastoupena obě pohlaví, všichni splňovali podmínky pro hodnocení barevných rozdílů:

- 1) Pozorovatel má bezdefektní vnímání barev
- 2) Pozorovatel má dostatečné množství času, je v psychické pohodě
- 3) Spektrální složení světla je blízké standardnímu osvětlení
- 4) Vzorky jsou hodnoceny při konstantním úhlu, bez rušivého okolního světla
- 5) Pracovní plocha je achromatická, bez rušivých vlivů

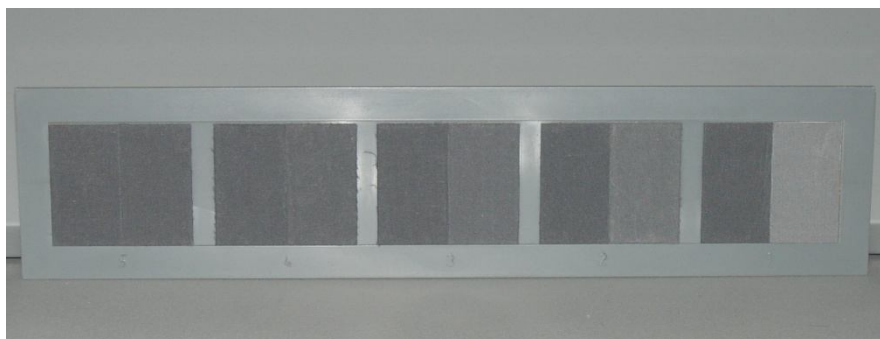
18 hodnotitelů třikrát posuzovalo dva vzorky (fialový a modrý), každý v sedmi vzdálenostech od zdroje osvětlení. Opakování posuzování probíhalo s odstupem alespoň jednoho týdne.

Celkem bylo tedy provedeno 756 hodnocení.

Hodnotitelé měli za úkol posoudit podle stupňů šedé stupnice pro hodnocení změny odstínu (ČSN EN 20105 – A02) barevné rozdíly mezi standardní polovinou vzorku a fotochromní polovinou vzorku.

Na hodnocení barevných rozdílů mezi standardní polovinou vzorku a fotochromní polovinou vzorku byla použita pětistupňová šedá stupnice se stupni od jedné do pěti, přičemž stupeň jedna vyjadřoval největší rozdíl a stupeň pět nejmenší nebo žádný rozdíl.

Všichni hodnotitelé byli před začátkem samotného hodnocení seznámeni s jeho principem.



Obrázek č. 8: Šedá stupnice [19]

Hodnocení vzorků bylo prováděno ve speciálně postaveném expozičním systému HB311 o rozměrech $33 \times 64 \times 40,5$ cm, ze vzdálenosti 35 cm, při úhlu pozorování 45° , zorném úhlu 2° a na osvětlení byly použity čtyři solární trubice Philips Hg 20W a dvě trubice Philips TL – D 15W/827. Tato kombinace trubic odpovídá dennímu osvětlení.



Obrázek č. 9: Expoziční systém HB311 [19]

Hodnocení vzorků bylo prováděno v sedmi různých vzdálenostech od zdroje osvětlení a sice; ve 40,5, 34,5, 28,5, 22,5, 16,5, 10,5 a 4,5 cm v místě s nejvyšší intenzitou ozáření. Tyto vzdálenosti vyplynuly z konstrukčního řešení expozičního systému HB311. Odstín fotochromní poloviny vzorku při vzrůstající intenzitě ozáření zintenzívněl. Úhel pozorování 45° nebylo možné při vzdálenosti 10,5 a 4,5 cm od zdroje osvětlení dodržet, protože při tomto úhlu bránila pohledu na vzorek vrchní deska expozičního systému HB311.

FIALOVÁ								
	vzdálenost	40,5 cm	34,5 cm	28,5 cm	22,5 cm	16,5 cm	10,5 cm	4,5 cm
hodnotitel 1	1. měření	3	4	4	4	4	5	5
	2. měření	2	3	4	4	5	5	5
	3. měření	2	3	4	4	5	5	5
	průměr	2,332	3,332	4	4	4,667	5	5
hodnotitel 2	1. měření	3	4	4	4	5	5	5
	2. měření	2	3	3	3	4	5	5
	3. měření	2	2	3	3	4	5	5
	průměr	2,332	3	3,337	3,667	4,332	5	5
hodnotitel 3	1. měření	2	2	3	4	4	4	5
	2. měření	2	2	3	3	4	4	5
	3. měření	2	2	3	3	4	5	5
	průměr	2	2	3	3,332	4	4,332	5
hodnotitel 4	1. měření	2	3	3	4	4	4	4
	2. měření	2	2	3	3	4	4	4
	3. měření	2	3	3	3	4	4	4
	průměr	2	2,667	3	3,332	4	4	4
hodnotitel 5	1. měření	3	3	3	4	4	4	5
	2. měření	3	3	4	4	5	5	5
	3. měření	2	2	3	3	4	5	5
	průměr	2,667	2,667	3,332	3,667	4,332	4,667	5
hodnotitel 6	1. měření	3	3	4	4	5	5	5
	2. měření	3	3	4	4	5	5	5
	3. měření	2	2	3	4	4	5	5
	průměr	2,667	2,667	4,667	4	4,667	5	5
hodnotitel 7	1. měření	2	3	4	4	4	4	4
	2. měření	2	2	3	4	4	4	5
	3. měření	2	3	4	4	4	4	4
	průměr	2	2,667	3,667	4	4	4	4,332
hodnotitel 8	1. měření	2	2	2	3	4	4	5
	2. měření	1	2	3	3	4	4	5
	3. měření	2	2	3	4	4	5	5
	průměr	1,667	2	2,667	3,332	4	4,332	5
hodnotitel 9	1. měření	2	2	3	3	3	4	4
	2. měření	2	2	3	3	4	4	4
	3. měření	1	2	2	3	4	4	4
	průměr	1,667	2	2,667	3	3,667	4	4
hodnotitel 10	1. měření	1	2	3	3	4	4	4
	2. měření	1	2	2	3	3	4	4
	3. měření	1	2	3	3	3	4	4
	průměr	1	2	2,667	3	3,332	4	4

Tabulka č. 6: Subjektivně posuzované hodnoty rozdílů fialové fotochromní poloviny vzorku od standardní poloviny vzorku podle šedé stupnice – hodnotitelé 1 – 10 [19]

hodnotitel 11	1. měření	3	3	3	4	5	5	5
	2. měření	3	3	4	4	4	5	5
	3. měření	3	3	4	4	4	4	4
	průměr	3	3	3,667	4	4,332	4,667	4,667
hodnotitel 12	1. měření	2	2	3	3	4	4	4
	2. měření	2	2	3	4	4	4	4
	3. měření	1	1	3	3	4	4	4
	průměr	1,667	1,667	3	3,332	4	4	4
hodnotitel 13	1. měření	2	2	3	4	4	4	5
	2. měření	2	3	3	4	4	4	4
	3. měření	2	2	3	3	4	4	4
	průměr	2	2,332	3	3,667	4	4	4,332
hodnotitel 14	1. měření	2	4	4	5	5	5	5
	2. měření	3	3	4	5	5	5	5
	3. měření	2	3	4	4	4	5	5
	průměr	2,332	3,332	4	4,667	4,667	5	5
hodnotitel 15	1. měření	3	3	4	4	4	5	5
	2. měření	2	3	3	3	4	4	4
	3. měření	2	3	3	4	4	5	5
	průměr	2,332	3	3,332	3,667	4	4,667	4,667
hodnotitel 16	1. měření	3	3	3	4	4	4	4
	2. měření	2	3	3	4	4	4	4
	3. měření	2	2	3	3	4	4	4
	průměr	2,332	2,667	3	3,667	4	4	4
hodnotitel 17	1. měření	3	3	3	3	4	4	4
	2. měření	2	2	2	3	3	4	4
	3. měření	2	2	3	3	3	3	4
	průměr	2,332	2,332	2,667	3	3,332	3,667	4
hodnotitel 18	1. měření	2	2	2	3	4	4	4
	2. měření	1	2	2	3	4	4	5
	3. měření	1	2	2	3	4	4	5
	průměr	1,332	2	2	3	4	4	4,667
	PRŮMĚR	2,09217	2,5183	3,20389	3,57389	4,07378	4,35178	4,53694

Tabulka č. 7: Subjektivně posuzované hodnoty rozdílů fialové fotochromní poloviny vzorku od standardní poloviny vzorku podle šedé stupnice – hodnotitelé 11 – 18 [19]

MODRÁ								
	vzdálenost	40,5 cm	34,5cm	28,5 cm	22,5 cm	16,5 cm	10,5 cm	4,5 cm
hodnotitel 1	1. měření	2	2	3	3	4	5	5
	2. měření	2	2	3	4	4	5	5
	3. měření	2	3	3	4	4	5	5
	průměr	2	2,332	3	3,667	4	5	5
hodnotitel 2	1. měření	2	2	3	4	4	4	5
	2. měření	1	2	3	3	4	4	5
	3. měření	2	2	3	4	4	5	5
	průměr	1,667	2	3	3,667	4	4,332	5
hodnotitel 3	1. měření	2	2	2	3	4	4	4
	2. měření	1	1	2	3	3	4	5
	3. měření	2	2	3	3	4	4	5
	průměr	1,667	1,667	2,332	3	3,667	4	4,667
hodnotitel 4	1. měření	2	2	3	3	4	4	4
	2. měření	2	2	2	3	3	4	4
	3. měření	2	2	2	3	3	4	4
	průměr	2	2	2,332	3	3,332	4	4
hodnotitel 5	1. měření	4	4	4	4	4	5	5
	2. měření	2	3	4	4	5	5	5
	3. měření	2	2	3	4	4	4	5
	průměr	2,667	3	3,667	4	4,332	4,667	5
hodnotitel 6	1. měření	2	3	3	4	4	5	5
	2. měření	2	2	3	4	4	5	5
	3. měření	1	2	3	3	4	4	5
	průměr	1,667	2,332	3	3,667	4	4,667	5
hodnotitel 7	1. měření	2	2	3	3	4	4	4
	2. měření	1	2	3	3	4	4	5
	3. měření	1	2	2	3	4	4	4
	průměr	1,332	2	2,667	3	4	4	4,332
hodnotitel 8	1. měření	2	3	4	4	5	5	5
	2. měření	2	2	3	4	5	5	5
	3. měření	2	2	3	4	5	5	5
	průměr	2	2,332	3,332	4	5	5	5
hodnotitel 9	1. měření	1	2	2	3	3	3	4
	2. měření	1	1	2	2	3	4	4
	3. měření	1	2	2	3	3	4	4
	průměr	1	1,667	2	2,667	3	3,667	4
hodnotitel 10	1. měření	1	2	2	3	4	4	5
	2. měření	1	2	3	4	4	4	4
	3. měření	1	1	2	3	3	4	4
	průměr	1	1,667	2,332	3,332	3,667	4	4,332

Tabulka č. 8: Subjektivně posuzované hodnoty rozdílů modré fotochromní poloviny vzorku od standardní poloviny vzorku podle šedé stupnice – hodnotitelé 1 – 10 [19]

hodnotitel 11	1. měření	2	4	4	4	5	5	5
	2. měření	3	3	4	4	4	4	5
	3. měření	2	3	3	3	4	4	5
	průměr	2,332	3,332	3,667	3,667	4,332	4,332	5
hodnotitel 12	1. měření	3	3	3	4	4	4	5
	2. měření	2	2	3	3	4	4	4
	3. měření	1	2	3	3	4	4	5
	průměr	2	2,332	3	3,332	4	4	4,667
hodnotitel 13	1. měření	2	2	3	3	4	4	4
	2. měření	2	2	2	3	4	4	5
	3. měření	2	2	3	3	4	4	4
	průměr	2	2	2,667	3	4	4	4,332
hodnotitel 14	1. měření	2	2	3	4	4	5	5
	2. měření	2	3	4	4	5	5	5
	3. měření	2	2	3	4	4	5	5
	průměr	2	2,332	3,332	4	4,332	5	5
hodnotitel 15	1. měření	2	3	3	4	4	4	5
	2. měření	2	2	3	3	4	4	4
	3. měření	2	2	3	3	4	4	5
	průměr	2	2,332	3	3,332	4	4	4,667
hodnotitel 16	1. měření	2	2	2	3	3	4	4
	2. měření	2	3	3	3	3	4	4
	3. měření	2	2	3	3	3	4	4
	průměr	2	2,332	2,667	3	3	4	4
hodnotitel 17	1. měření	2	2	3	3	4	4	5
	2. měření	1	2	2	3	3	4	5
	3. měření	2	2	2	3	3	4	4
	průměr	1,667	2	2,332	3	3,332	4	4,667
hodnotitel 18	1. měření	2	3	3	3	4	4	5
	2. měření	1	2	3	3	3	4	5
	3. měření	1	2	3	3	4	4	4
	průměr	1,332	2,332	3	3	3,667	4	4,667
	PRŮMĚR	1,796167	2,221611	2,8515	3,351722	3,870056	4,259167	4,6295

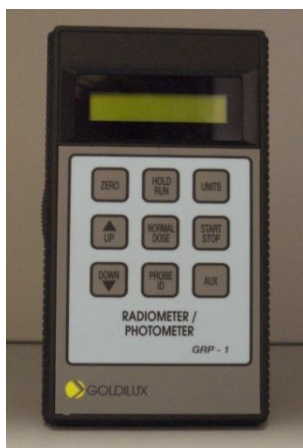
Tabulka č. 9: Subjektivně posuzované hodnoty rozdílů modré fotochromní poloviny vzorku od standardní poloviny vzorku podle šedé stupnice – hodnotitelé 11 – 18 [19]

2.1. Měření ozáření a osvětlenosti

Ozáření [$\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$] – radiometrická veličina vyjadřující intenzitu ozáření dopadající na určitou plochu. [7]

Osvětlenost [lx] – fotometrická veličina vyjadřující světelný tok dopadající na určitou plochu. [8]

Nejvyšší intenzita ozáření a osvětlenosti byla v expozičním systému HB311 měřena radiometrem Goldilux[®]. Pro měření ozáření byla použita sonda GAP – 1 UVA a pro měření osvětlenosti byla použita sonda GLP – 1.



Obrázek č. 10: Radiometr Goldilux[®] [19]



Obrázek č. 11: Sonda GAP – 1 UVA měřící ozáření a sonda GLP – 1 měřící osvětlenost [19]

Základna expozičního systému HB311 byla rozdělena na síť se čtverci o stranách 10×10 cm. Ve středu každého čtverce byla následně změřena intenzita ozáření a osvětlenosti. Tato měření byla opakována v sedmi vzdálenostech od zdroje osvětlení a sice; v 37, 34,5, 28,5, 22,5, 16,5, 10,5 a 4,5 cm. Kvůli výšce sondy 3,5 cm nebylo možné změřit intenzitu ozáření a osvětlenosti přímo na povrchu základny ve vzdálenosti od zdroje osvětlení 40,5 cm.

OZÁŘENOST [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]							
Vzdálenost		10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
37 cm	10 cm	994	1305,2	1592	1647	1503	1149,7
	20 cm	1020,6	1434,9	1724	1825	1623	1125,6
	30 cm	906,1	1322,1	1593,5	1653,1	1298,5	985
34,5 cm	10 cm	997,2	1559,8	2003,3	2053,4	1662,5	1207,7
	20 cm	1079,8	1562,9	2165	2259	1871	1378
	30 cm	1050,1	1474,7	1975	2125	1749,2	1349,6
28,5 cm	10 cm	948,8	1553,5	2155	2243	1834	1236,1
	20 cm	1258	2206	3084	3201	2622	1418,7
	30 cm	917	2143	2957	3056	2446	1603,6
22,5 cm	10 cm	986,1	2090	2896	2859	2173	1274,6
	20 cm	1112	2949	4164	4228	3292	1860
	30 cm	1004	2220	3366	3285	2756	1681
16,5 cm	10 cm	769,6	2165	3919	3462	2695	1173,9
	20 cm	893,7	3488	5809	5770	4322	2052
	30 cm	840,6	1213	3514	3023	2672	1049,9
10,5 cm	10 cm	679,5	3421	4361	4078	3144	1229
	20 cm	766,3	5852	7576	7395	5348	2086
	30 cm	534,5	2836	4737	4648	3680	1203,8
4,5 cm	10 cm	169,5	3340	4280	4612	5447	406,3
	20 cm	73,1	6885	10680	11226	8906	1126,9
	30 cm	120,2	3275	6682	6492	6823	757,1

Tabulka č. 10: Naměřené hodnoty ozáření v expozičním systému HB311[19]

OSVĚTLENOST [lx]							
Vzdálenost		10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
37 cm	10 cm	2869	3760	4418	4587	4146	3229
	20 cm	3027	4052	4801	4857	4330	3386
	30 cm	2774,4	3785	4374	4463	3927	3123
34,5 cm	10 cm	2831	4109	4969	5351	4756	3613
	20 cm	3172	4686	5707	5957	5280	3896
	30 cm	2794	4164	5089	5283	4455	3148
28,5 cm	10 cm	2892	4535	5609	6009	5142	3587
	20 cm	3147	5342	6578	6866	5919	4020
	30 cm	2690	4554	5453	5882	4881	3412
22,5 cm	10 cm	2844	5041	6812	7234	6261	3761
	20 cm	3222	6101	8217	8471	7198	4302
	30 cm	3832	3283	6837	7573	6140	3539
16,5 cm	10 cm	2878	6634	8553	9534	8394	4110
	20 cm	2913	7355	9987	10592	9079	4521
	30 cm	2283,4	5904	9515	10304	8748	5122
10,5 cm	10 cm	1871,3	8693	11895	12747	11416	4513
	20 cm	2505	7976	11683	12334	10679	4255
	30 cm	1866,9	8959	11412	13319	11142	4811
4,5 cm	10 cm	953,9	12666	18796	21388	16728	2621
	20 cm	1843,1	11523	11383	11523	8499	3335
	30 cm	467,2	11600	19731	20152	17218	4378

Tabulka č. 11: Naměřené hodnoty osvětlenosti v expozičním systému HB311 [19]

Pro srovnání je zde uvedena tabulka hodnot sluneční ozáření dopadající 21. června na 50° severní šířky, s faktorem znečištění atmosféry $Z = 4$.

Faktor znečištění atmosféry: $Z = 2$ pro místa nad 2000 m

$Z = 2,5$ místa nad 1000 m

$Z = 3$ venkov bez průmyslových exhalací

$Z = 4$ města a průmyslová střediska

$Z = 5 - 8$... silně znečištěné prostředí

OZÁŘENOST [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]									
Čas	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Horizont
5 ⁰⁰	8100	15700	15000	6200	3300	3300	3300	3300	6000
6 ⁰⁰	11100	33600	36700	19200	6000	6000	6000	6000	15200
7 ⁰⁰	9100	39300	50500	33000	8400	8400	8400	8400	28600
8 ⁰⁰	10500	34600	54800	44000	11900	10500	10500	10500	43400
9 ⁰⁰	12200	23800	50700	49200	20700	12200	12200	12200	56900
10 ⁰⁰	13400	14500	38900	48200	30400	13400	13400	13400	67200
11 ⁰⁰	14200	14200	23400	41100	37400	17400	14200	14200	73600
12 ⁰⁰	14500	14500	14500	29300	29900	29300	14500	14500	75800
13 ⁰⁰	14200	14200	14200	17400	37400	41100	23400	14200	73600
14 ⁰⁰	13400	13400	13400	13400	30400	48200	38900	14500	67200
15 ⁰⁰	12200	12200	12200	12200	20700	19200	50700	23800	56900
16 ⁰⁰	10500	10500	10500	10500	11900	44000	54800	34600	43400
17 ⁰⁰	9100	8400	8400	8400	8400	33300	50300	39300	28600
18 ⁰⁰	11100	6000	6000	6000	6000	19200	36700	33600	15200
19 ⁰⁰	8100	3300	3300	3300	3300	6200	15000	15700	6000

Tabulka č. 12: Intenzita sluneční ozáření dopadající 21. června na 50° s. š, faktor znečištění atmosféry $Z = 4$. [18]

2.2. Fialový vzorek

Vzdálenost [cm]	40,5	34,5	28,5	22,5	16,5	10,5	4,5
Ozářenost [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]	1825	2259	3201	4228	5770	7395	11226
Vizuální odchylna dV [1]	5,848	4,320	2,536	1,833	1,094	0,768	0,579

Tabulka č. 13: Hodnoty ozářenosti, vizuální odchylny a vzdálenosti od zdroje osvětlení pro fialový vzorek [19]

Hodnoty ozářenosti v tabulce č. 13 jsou hodnoty naměřené v místě nejvyšší intenzity ozářenosti v expozičním systému HB311 a jsou převzaty z tabulky č. 10.

Hodnoty vizuální odchylny jsou vypočítány podle následující rovnice:

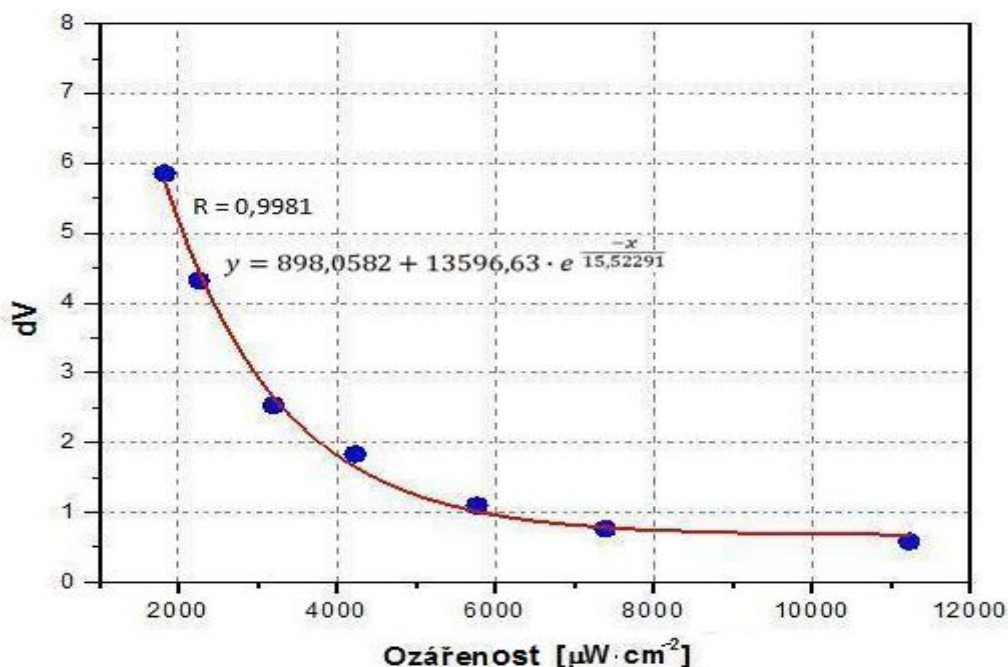
$$dV = 1,078 + 23,56 \cdot e^{\frac{-GS}{1,709}}$$

dVvizuální odchylna

GSstupeň šedé stupnice

Hodnoty vzdálenosti jsou vzdálenosti jednotlivých poloh od trubic expozičního systému HB311.

Graf závislosti vizuální odchylny na ozářenosti

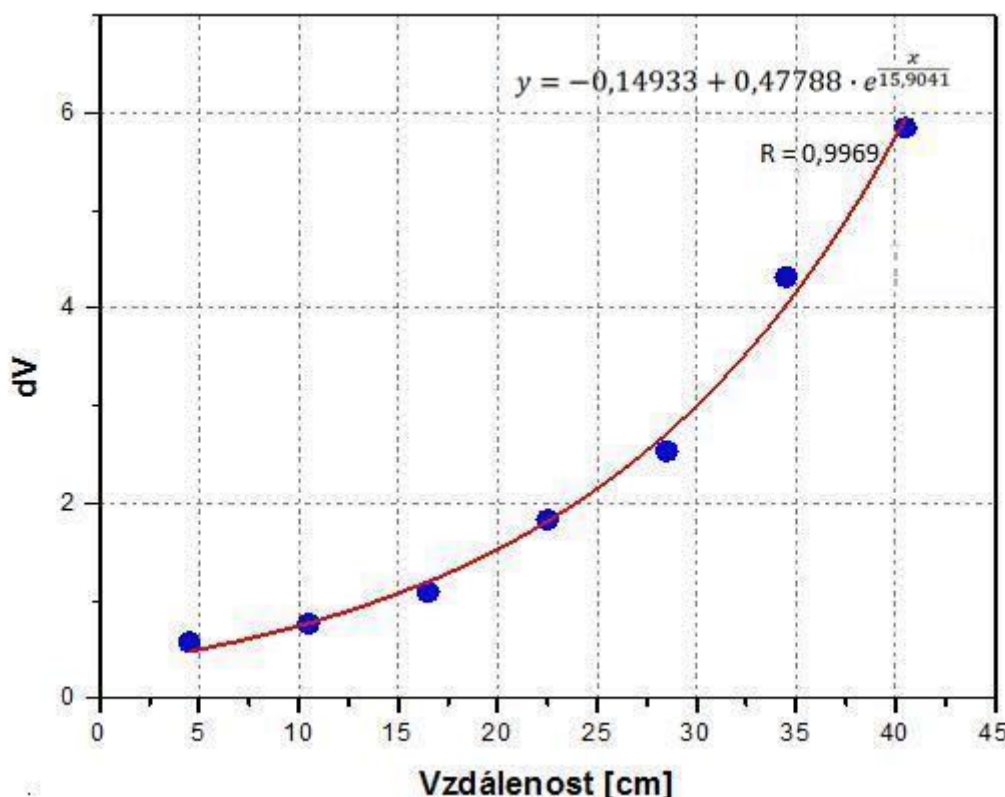


Graf č. 1: Závislost vizuální odchylny na ozářenosti [19]

Z dané závislosti v grafu č. 1 je patrné, že se vzrůstající ozářeností klesá vizuální odchylka. Mezi jednotlivými daty je exponenciální závislost a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9981. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = 898,0582 + 13596,63 \cdot e^{\frac{x}{15,52291}}$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Graf závislosti vizuální odchylky na vzdálenosti od zdroje osvětlení

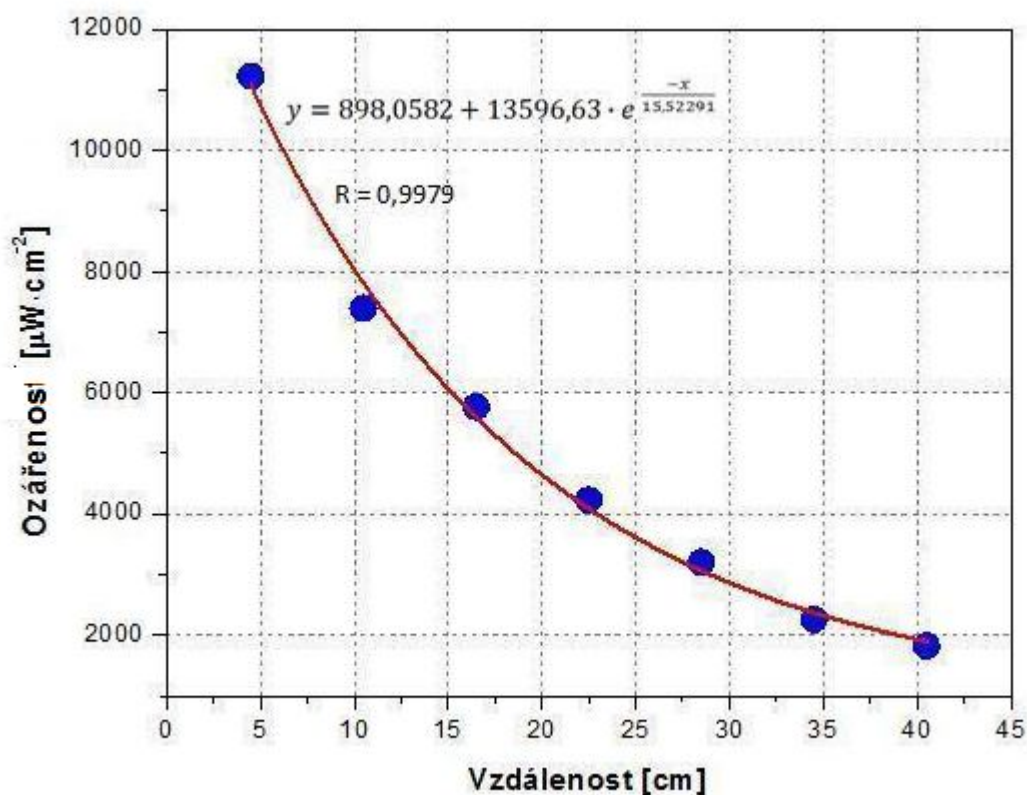


Graf č. 2: Závislost vizuální odchylky na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 2 je patrné, že se vzrůstající vizuální odchylkou vzdálenost od zdroje osvětlení roste. Mezi jednotlivými daty je exponenciální závislost a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9969. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = -0,14933 + 0,47788 \cdot e^{\frac{x}{15,9041}}$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Graf závislosti ozáření na vzdálenosti od zdroje osvětlení



Graf č. 3: Závislost ozáření na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 3 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení ozáření klesá. Mezi jednotlivými daty je exponenciální závislost a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9979. Rovnice proložené křivky odpovídá

$$y = 898,0582 + 13596,63 \cdot e^{\frac{-x}{15,52291}}$$

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 13.

2.3. Modrý vzorek

Vzdálenost [cm]	40,5	34,5	28,5	22,5	16,5	10,5	4,5
Ozářenost [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]	1825	2259	3201	4228	5770	7395	11226
Vizuální odchylna dV [1]	7,158	5,343	3,364	2,237	1,369	0,871	0,491

Tabulka č. 14: Hodnoty ozáření, vizuální odchylny a vzdálenosti od zdroje osvětlení pro modrý vzorek [19]

Hodnoty ozáření v tabulce č. 14 jsou hodnoty naměřené v místě nejvyšší intenzity ozáření v expozičním systému HB311 a jsou převzaty z tabulky č. 10.

Hodnoty vizuální odchylny byly vypočítány podle následující rovnice:

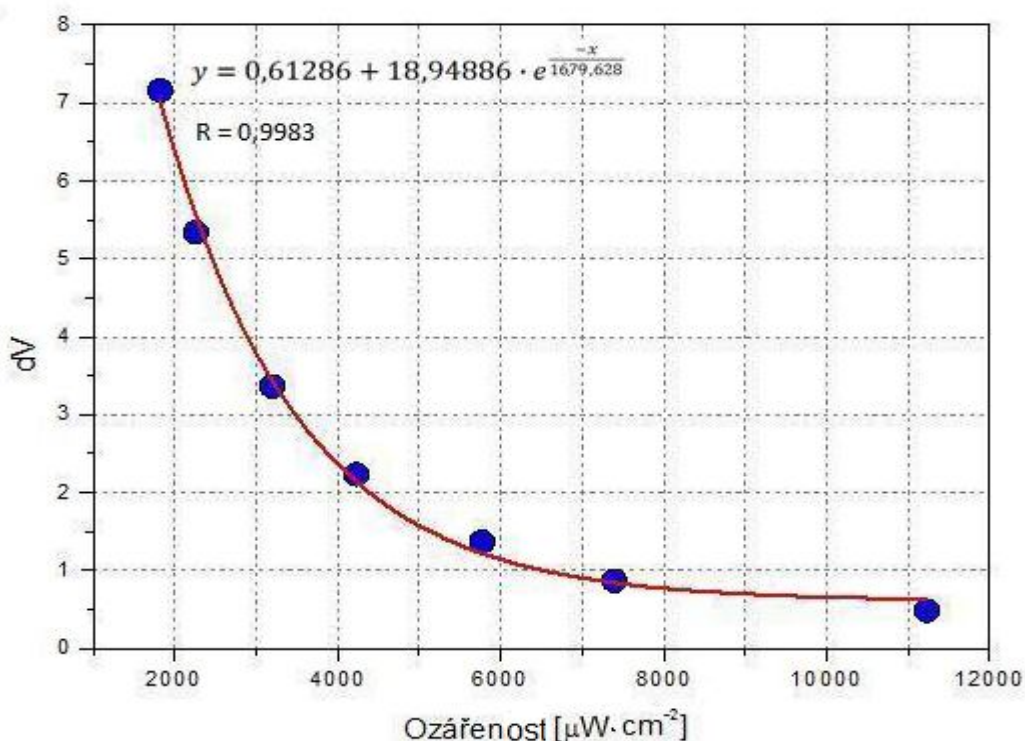
$$dV = 1,078 + 23,56 \cdot e^{\frac{-GS}{1,769}}$$

dV vizuální odchylna

GS stupeň šedé stupnice

Hodnoty vzdálenosti jsou vzdálenosti jednotlivých poloh od trubice expozičního systému HB311.

Graf závislosti vizuální odchylny na ozáření



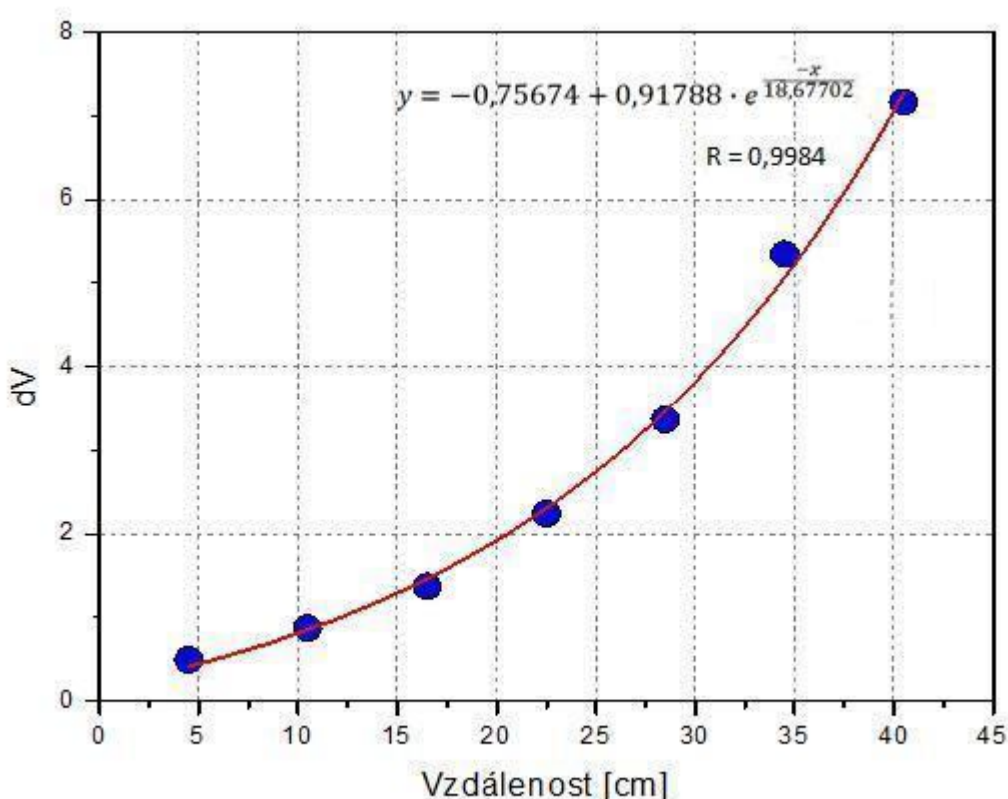
Graf č. 4: Závislost vizuální odchylny na ozáření [19]

Z dané závislosti v grafu č. 4 je patrné, že se vzrůstající ozářeností klesá vizuální odchylka. Mezi jednotlivými daty je exponenciální závislost a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9983. Rovnice proložené křivky odpovídá

$$y = 0,61286 + 18,94886 \cdot e^{\frac{-x}{1679,628}},$$

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Graf závislosti vizuální odchylky na vzdálenosti od zdroje osvětlení



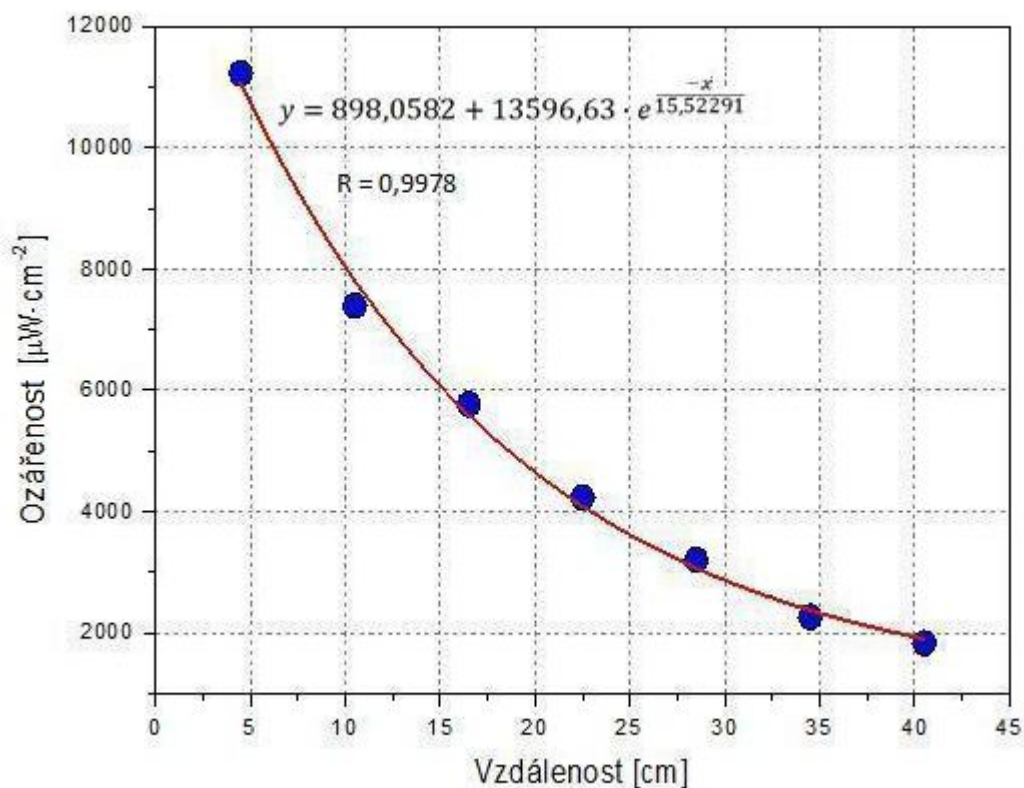
Graf č. 5: Závislost vizuální odchylky na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 5 je patrné, že se vzrůstající vizuální odchylkou vzdálenost od zdroje osvětlení roste. Mezi jednotlivými daty je exponenciální závislost a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9984. Rovnice proložené křivky odpovídá

$$y = -0,75674 + 0,91788 \cdot e^{\frac{-x}{18,67702}}.$$

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Graf závislosti ozáření na vzdálenosti od zdroje osvětlení



Graf č. 6: Závislost ozáření na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 6 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení ozáření klesá. Mezi jednotlivými daty je exponenciální závislost a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9978. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = 898,0582 + 13596,63 \cdot e^{\frac{-x}{15,52291}}$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 14.

3. OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Oba vzorky byly následně měřeny na přístroji Color Analyzer CA – 210 s měřicí sondou CA – PU 12. Měřicí sonda byla od vzorku vzdálena 35 cm a úhel měření byl nastaven na 45°. Vzorek byl měřen v místech s největší hodnotou ozáření v pěti vzdálenostech od zdroje osvětlení a sice; ve 40,5, 34,5, 28,5, 22,5 a 16,5 cm. Kvůli dodržení úhlu měření se vzorky nemohly měřit ve vzdálenostech 10,5 a 4,5 cm. Oba vzorky byly v každé poloze změřeny dvacetkrát a z každého měření byly následně vyřazeny čtyři vybočující hodnoty.

Poté byly stejným způsobem změřeny tři barevné standardy – černý, šedý a bílý.

Byly naměřeny hodnoty xyL_v . Jas (L_v) je fotometrická veličina vyjadřující množství světelného toku, který se odráží od daného elementu (nebo z něj vychází), v určitém směru k místu pozorovatele. Jednotkou jasu je kandela na čtverečný metr ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$). [20]



Obrázek č. 13: Color Anylyzer CA – 210 [19]



Obrázek č. 12: Sonda CA – PU 12 [19]

FIALOVÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,399	0,282	24,2	0,38	0,262	21,3	0,388	0,264	27,1	0,3
2	0,407	0,295	23,6	0,391	0,25	21,5	0,405	0,245	25,3	0,3
3	0,41	0,266	22,8	0,391	0,249	22	0,399	0,249	26,1	0,3
4	0,408	0,272	23,2	0,397	0,243	21,1	0,398	0,247	25,8	0,3
5	0,408	0,266	22,5	0,394	0,247	22,1	0,397	0,253	26,3	0,3
6	0,403	0,272	23,2	0,384	0,261	23,5	0,39	0,261	27,4	0,3
7	0,411	0,268	23,3	0,392	0,249	22,7	0,405	0,245	25,6	0,4
8	0,403	0,287	25,5	0,394	0,251	22,9	0,399	0,25	26,4	0,3
9	0,405	0,282	24,7	0,396	0,256	22,4	0,398	0,248	25,9	0,3
10	0,406	0,271	22,9	0,392	0,252	23,8	0,397	0,253	26,2	0,3
11	0,404	0,276	23,6	0,385	0,262	24,1	0,389	0,263	27,6	0,3
12	0,408	0,271	23,2	0,393	0,249	22,9	0,407	0,243	25,5	0,4
13	0,409	0,27	23,6	0,393	0,252	23	0,398	0,25	26,6	0,3
14	0,404	0,281	24,6	0,396	0,246	22	0,401	0,246	26	0,3
15	0,405	0,273	23,2	0,396	0,249	22,3	0,398	0,249	26,7	0,3
16	0,4	0,28	24,2	0,386	0,262	23,5	0,39	0,26	28,1	0,3
17	0,404	0,28	24,5	0,397	0,248	22,6	0,402	0,245	26,4	0,4
18	0,409	0,269	23,2	0,396	0,251	22,8	0,397	0,249	26,7	0,3
19	0,407	0,271	23,2	0,394	0,248	22,1	0,396	0,248	26,1	0,3
20	0,407	0,269	23	0,395	0,251	23,3	0,394	0,254	27,1	0,3
Průměr	0,40585	0,27505	23,61	0,3921	0,2519	22,595	0,3974	0,2511	26,445	0,39

Tabulka č. 15: Naměřené hodnoty xyL_v s označenými vybočujícími hodnotami – fialový vzorek [19]

FIALOVÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,399	0,282	24,2	0,394	0,247	22,1	0,388	0,264	27,1	0,3
2	0,407	0,295	23,6	0,384	0,261	23,5	0,399	0,249	26,1	0,3
3	0,41	0,266	22,8	0,392	0,249	22,7	0,397	0,253	26,3	0,3
4	0,408	0,272	23,2	0,394	0,251	22,9	0,39	0,261	27,4	0,3
5	0,403	0,272	23,2	0,396	0,256	22,4	0,399	0,25	26,4	0,3
6	0,411	0,268	23,3	0,392	0,252	23,8	0,398	0,248	25,9	0,3
7	0,406	0,271	22,9	0,385	0,262	24,1	0,397	0,253	26,2	0,3
8	0,404	0,276	23,6	0,393	0,249	22,9	0,389	0,263	27,6	0,3
9	0,408	0,271	23,2	0,393	0,252	23	0,398	0,25	26,6	0,4
10	0,409	0,27	23,6	0,396	0,246	22	0,401	0,246	26	0,3
11	0,405	0,273	23,2	0,396	0,249	22,3	0,398	0,249	26,7	0,3
12	0,4	0,28	24,2	0,386	0,262	23,5	0,39	0,26	28,1	0,3
13	0,404	0,28	24,5	0,397	0,248	22,6	0,402	0,245	26,4	0,3
14	0,409	0,269	23,2	0,396	0,251	22,8	0,397	0,249	26,7	0,4
15	0,407	0,271	23,2	0,394	0,248	22,1	0,396	0,248	26,1	0,3
16	0,407	0,269	23	0,395	0,251	23,3	0,394	0,254	27,1	0,3
Průměr	0,406063	0,274063	23,43125	0,392688	0,252125	22,875	0,395813	0,252625	26,66875	0,39

Tabulka č. 16: Naměřené hodnoty xyL_v bez vybočujících hodnot – fialový vzorek [19]

MODRÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,338	0,374	49,3	0,302	0,327	47,2	0,314	0,331	58,1	0
2	0,345	0,38	51,6	0,301	0,33	46,8	0,311	0,345	66	0
3	0,346	0,381	53,8	0,302	0,335	48,2	0,315	0,35	68,6	0
4	0,346	0,376	51,9	0,312	0,343	52,7	0,318	0,338	65,6	0
5	0,347	0,374	52,2	0,311	0,346	53,3	0,315	0,345	66,9	0
6	0,343	0,374	51,7	0,31	0,343	52,4	0,314	0,341	65,1	0
7	0,344	0,377	51,7	0,316	0,338	51,6	0,312	0,346	67,1	0
8	0,345	0,375	52,7	0,313	0,348	54,4	0,312	0,344	66,2	0
9	0,349	0,374	51,9	0,314	0,349	55,1	0,313	0,349	68,2	0
10	0,347	0,377	53,7	0,313	0,348	54,5	0,312	0,342	65,3	0
11	0,342	0,379	53	0,317	0,351	56,3	0,312	0,348	67,9	0
12	0,346	0,378	52,8	0,314	0,348	55,2	0,31	0,345	66,4	0
13	0,346	0,373	51,7	0,326	0,334	53,1	0,31	0,345	66,9	0
14	0,348	0,373	51,7	0,316	0,351	56,1	0,311	0,345	66,7	0
15	0,348	0,375	52,8	0,337	0,326	48,6	0,315	0,348	68,3	0
16	0,342	0,377	52,2	0,323	0,338	53,3	0,312	0,346	67,2	0
17	0,346	0,379	53,7	0,321	0,348	58,5	0,311	0,345	66,6	0
18	0,346	0,376	53,6	0,323	0,336	53,9	0,315	0,337	63,5	0
19	0,349	0,375	52,7	0,323	0,347	57,1	0,315	0,344	67,1	0
20	0,348	0,374	53,5	0,321	0,34	55,4	0,315	0,341	65,9	0
Průměr	0,34555	0,37605	52,41	0,31575	0,3413	53,185	0,3131	0,34375	66,18	0,3

Tabulka č. 17: Naměřené hodnoty xyL_v s označenými vybočujícími hodnotami – modrý vzorek [19]

MODRÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			x
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,345	0,38	51,6	0,312	0,343	52,7	0,311	0,345	66	0,3
2	0,346	0,376	51,9	0,311	0,346	53,3	0,318	0,338	65,6	0,3
3	0,347	0,374	52,2	0,31	0,343	52,4	0,315	0,345	66,9	0,3
4	0,343	0,374	51,7	0,316	0,338	51,6	0,314	0,341	65,1	0,3
5	0,344	0,377	51,7	0,313	0,348	54,4	0,312	0,346	67,1	0,3
6	0,345	0,375	52,7	0,314	0,349	55,1	0,312	0,344	66,2	0,3
7	0,349	0,374	51,9	0,313	0,348	54,5	0,312	0,342	65,3	0,3
8	0,342	0,379	53	0,317	0,351	56,3	0,312	0,348	67,9	0,3
9	0,346	0,378	52,8	0,314	0,348	55,2	0,31	0,345	66,4	0,3
10	0,346	0,373	51,7	0,326	0,334	53,1	0,31	0,345	66,9	0,3
11	0,348	0,373	51,7	0,316	0,351	56,1	0,311	0,345	66,7	0,3
12	0,348	0,375	52,8	0,323	0,338	53,3	0,312	0,346	67,2	0,3
13	0,342	0,377	52,2	0,321	0,348	58,5	0,311	0,345	66,6	0,3
14	0,346	0,376	53,6	0,323	0,336	53,9	0,315	0,337	63,5	0,3
15	0,349	0,375	52,7	0,323	0,347	57,1	0,315	0,344	67,1	0,3
16	0,348	0,374	53,5	0,321	0,34	55,4	0,315	0,341	65,9	0,3
Průměr	0,345875	0,375625	52,35625	0,317063	0,34425	54,55625	0,312813	0,343563	66,275	0,31

Tabulka č. 18: Naměřené hodnoty xyL_v bez vybočujících hodnot – modrý vzorek [19]

BÍLÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,432	0,348	133	0,427	0,362	183	0,432	0,361	238	0,4
2	0,438	0,341	134	0,426	0,362	192	0,423	0,371	243	0,4
3	0,432	0,354	144	0,424	0,369	188	0,426	0,369	233	0,4
4	0,438	0,35	141	0,423	0,368	192	0,433	0,358	237	0,4
5	0,438	0,353	141	0,425	0,366	190	0,423	0,374	248	0,4
6	0,439	0,356	142	0,427	0,364	189	0,428	0,364	236	0,4
7	0,438	0,361	142	0,425	0,367	190	0,424	0,372	246	0,4
8	0,439	0,361	140	0,424	0,368	195	0,424	0,371	242	0,4
9	0,443	0,356	136	0,425	0,365	191	0,428	0,366	238	0,4
10	0,443	0,356	137	0,424	0,368	193	0,423	0,373	248	0,4
11	0,443	0,355	134	0,426	0,362	191	0,427	0,365	245	0,4
12	0,438	0,363	141	0,428	0,362	190	0,422	0,399	248	0,4
13	0,438	0,363	141	0,425	0,364	191	0,426	0,366	234	0,4
14	0,445	0,353	132	0,427	0,362	189	0,426	0,368	242	0,4
15	0,438	0,364	141	0,423	0,367	191	0,425	0,37	251	0,4
16	0,442	0,359	137	0,426	0,364	184	0,421	0,375	264	0,4
17	0,439	0,364	140	0,426	0,362	183	0,428	0,365	242	0
18	0,441	0,36	136	0,429	0,359	183	0,413	0,386	248	0,4
19	0,438	0,364	139	0,411	0,384	192	0,404	0,408	246	0,4
20	0,44	0,363	139	0,416	0,377	189	0,416	0,382	244	0,4
	0,4391	0,3572	138,5	0,42435	0,3661	189,3	0,4236	0,37315	243,65	0,4

Tabulka č. 19: Naměřené hodnoty xyL_v s označenými vybočujícími hodnotami – bílý standard [19]

BÍLÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			x
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,432	0,348	133	0,426	0,362	192	0,432	0,361	238	0,4
2	0,438	0,341	134	0,424	0,369	188	0,423	0,371	243	0,4
3	0,438	0,35	141	0,423	0,368	192	0,426	0,369	233	0,4
4	0,438	0,353	141	0,425	0,366	190	0,433	0,358	237	0,4
5	0,439	0,361	140	0,427	0,364	189	0,423	0,374	248	0,4
6	0,443	0,356	136	0,425	0,367	190	0,428	0,364	236	0,4
7	0,443	0,356	137	0,424	0,368	195	0,424	0,372	246	0,4
8	0,443	0,355	134	0,425	0,365	191	0,424	0,371	242	0,4
9	0,438	0,363	141	0,424	0,368	193	0,428	0,366	238	0,4
10	0,438	0,363	141	0,426	0,362	191	0,427	0,365	245	0,4
11	0,438	0,364	141	0,428	0,362	190	0,422	0,399	248	0,4
12	0,442	0,359	137	0,425	0,364	191	0,426	0,366	234	0,4
13	0,439	0,364	140	0,427	0,362	189	0,426	0,368	242	0,4
14	0,441	0,36	136	0,423	0,367	191	0,428	0,365	242	0,4
15	0,438	0,364	139	0,411	0,384	192	0,404	0,408	246	0,4
16	0,44	0,363	139	0,416	0,377	189	0,416	0,382	244	0,4
Průměr	0,43925	0,3575	138,125	0,423688	0,367188	190,8125	0,424375	0,372438	241,375	0,424

Tabulka č. 20: Naměřené hodnoty xyL_v bez vybočujících hodnot – bílý standard [19]

ŠEDÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,423	0,383	41,8	0,418	0,369	51,4	0,422	0,367	66,3	
2	0,425	0,381	41,6	0,412	0,378	55,1	0,429	0,359	64,8	
3	0,424	0,384	41,9	0,415	0,376	54,9	0,419	0,374	67,3	
4	0,425	0,382	41,7	0,421	0,366	53	0,425	0,364	67,2	
5	0,424	0,384	41,7	0,423	0,363	53,3	0,421	0,371	69,2	
6	0,425	0,383	41,5	0,426	0,361	52,1	0,42	0,372	69,4	
7	0,424	0,384	42	0,42	0,368	54,1	0,421	0,372	70,1	
8	0,424	0,385	42,1	0,419	0,369	55,5	0,429	0,359	65,4	
9	0,424	0,383	41,8	0,421	0,365	53,5	0,427	0,363	65,6	
10	0,424	0,384	42,1	0,42	0,367	54,2	0,421	0,371	69,7	
11	0,424	0,384	41,7	0,422	0,363	53,5	0,433	0,353	61,8	
12	0,425	0,383	41,5	0,42	0,367	54,6	0,428	0,361	65,4	
13	0,424	0,384	41,8	0,421	0,365	53,9	0,433	0,353	61,2	
14	0,425	0,384	41,8	0,427	0,356	51	0,423	0,369	67,8	
15	0,425	0,384	41,5	0,419	0,367	54,6	0,428	0,36	64,4	
16	0,424	0,385	41,8	0,423	0,36	51,8	0,433	0,353	62,1	
17	0,424	0,385	41,4	0,418	0,369	54,9	0,431	0,354	62,7	
18	0,425	0,383	41,2	0,421	0,363	53,2	0,433	0,352	61,6	
19	0,424	0,384	41,6	0,405	0,386	53,4	0,429	0,357	62,2	
20	0,425	0,383	41,7	0,4	0,394	52,9	0,428	0,361	62,7	
	0,42435	0,3836	41,71	0,41855	0,3686	53,545	0,42665	0,36225	63,845	0

Tabulka č. 21: Naměřené hodnoty xyL_v s označenými vybočujícími hodnotami – šedý standard [19]

ŠEDÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	L _v	x	y	L _v	x	y	L _v	
1	0,423	0,383	41,8	0,412	0,378	55,1	0,422	0,367	66,3	0,
2	0,425	0,381	41,6	0,415	0,376	54,9	0,429	0,359	64,8	0,
3	0,425	0,382	41,7	0,421	0,366	53	0,419	0,374	67,3	0,
4	0,424	0,384	41,7	0,423	0,363	53,3	0,425	0,364	67,2	0,
5	0,425	0,383	41,5	0,42	0,368	54,1	0,421	0,371	69,2	0,
6	0,424	0,383	41,8	0,419	0,369	55,5	0,42	0,372	69,4	0,
7	0,424	0,384	41,7	0,421	0,365	53,5	0,421	0,372	70,1	0,
8	0,425	0,383	41,5	0,42	0,367	54,2	0,429	0,359	65,4	0,
9	0,424	0,384	41,8	0,422	0,363	53,5	0,427	0,363	65,6	0,
10	0,425	0,384	41,8	0,42	0,367	54,6	0,421	0,371	69,7	0,
11	0,425	0,384	41,5	0,421	0,365	53,9	0,428	0,361	65,4	0,
12	0,424	0,385	41,8	0,419	0,367	54,6	0,423	0,369	67,8	0,
13	0,424	0,385	41,4	0,418	0,369	54,9	0,428	0,36	64,4	0,
14	0,425	0,383	41,2	0,421	0,363	53,2	0,431	0,354	62,7	0,
15	0,424	0,384	41,6	0,405	0,386	53,4	0,429	0,357	62,2	0,
16	0,425	0,383	41,7	0,4	0,394	52,9	0,428	0,361	62,7	0,
Průměr	0,424438	0,383438	41,63125	0,417313	0,370375	54,0375	0,425063	0,364625	66,2625	0,42

Tabulka č. 22: Naměřené hodnoty xyL_v bez vybočujících hodnot – šedý standard [19]

ČERNÁ										
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm			
	x	y	Lv	x	y	Lv	x	y	Lv	
1	0,318	0,452	4,98	0,387	0,387	6,81	0,392	0,4	9,41	0
2	0,398	0,364	4,58	0,392	0,385	7,62	0,402	0,387	9,03	0
3	0,41	0,367	3,96	0,394	0,388	7,21	0,407	0,38	8,32	0
4	0,411	0,367	4,36	0,394	0,384	6,73	0,411	0,391	9,13	0
5	0,397	0,38	4,44	0,396	0,387	7,37	0,398	0,398	9,29	0
6	0,4	0,388	4,11	0,393	0,39	7,51	0,395	0,401	9,36	0
7	0,404	0,387	4,47	0,398	0,382	7,19	0,395	0,403	9,47	0
8	0,414	0,372	4,6	0,398	0,38	6,79	0,396	0,4	9,32	0
9	0,413	0,396	4,06	0,39	0,394	7,33	0,4	0,392	8,88	0
10	0,419	0,364	4,11	0,393	0,389	7,05	0,408	0,383	8,81	0
11	0,412	0,369	4,28	0,382	0,406	7,67	0,394	0,402	9,2	0
12	0,4	0,375	4,59	0,392	0,391	7,36	0,393	0,405	9,43	0
13	0,405	0,356	4,03	0,396	0,384	6,97	0,425	0,364	8,84	0
14	0,41	0,354	4,08	0,396	0,384	7,03	0,394	0,403	9,16	0
15	0,399	0,375	4,73	0,397	0,377	7,04	0,4	0,392	9,49	0
16	0,406	0,362	4,31	0,381	0,404	7,27	0,397	0,399	9,28	0
17	0,399	0,376	4,69	0,396	0,38	6,73	0,4	0,392	9,63	0
18	0,403	0,362	4,34	0,403	0,372	6,97	0,401	0,392	9,05	0
19	0,404	0,374	4,68	0,402	0,369	6,97	0,4	0,392	9,06	0
20	0,402	0,363	4,39	0,391	0,393	7,51	0,393	0,405	9,47	0
	0,4012	0,37515	4,3895	0,39355	0,3863	7,1565	0,40005	0,39405	9,1815	0,3

Tabulka č. 23: Naměřené hodnoty xyL_v s označenými vybočujícími hodnotami – černý standard

[19]

ČERNÁ									
	40,5 cm			34,5 cm			28,5 cm		
	x	y	Lv	x	y	Lv	x	y	Lv
1	0,398	0,364	4,58	0,392	0,385	7,62	0,392	0,4	9,41
2	0,41	0,367	3,96	0,394	0,388	7,21	0,402	0,387	9,03
3	0,411	0,367	4,36	0,396	0,387	7,37	0,411	0,391	9,13
4	0,397	0,38	4,44	0,393	0,39	7,51	0,398	0,398	9,29
5	0,4	0,388	4,11	0,398	0,382	7,19	0,395	0,401	9,36
6	0,404	0,387	4,47	0,39	0,394	7,33	0,395	0,403	9,47
7	0,414	0,372	4,6	0,393	0,389	7,05	0,396	0,4	9,32
8	0,413	0,396	4,06	0,382	0,406	7,67	0,394	0,402	9,2
9	0,419	0,364	4,11	0,392	0,391	7,36	0,393	0,405	9,43
10	0,412	0,369	4,28	0,396	0,384	6,97	0,394	0,403	9,16
11	0,4	0,375	4,59	0,396	0,384	7,03	0,4	0,392	9,49
12	0,405	0,356	4,03	0,397	0,377	7,04	0,397	0,399	9,28
13	0,41	0,354	4,08	0,381	0,404	7,27	0,4	0,392	9,63
14	0,406	0,362	4,31	0,403	0,372	6,97	0,401	0,392	9,05
15	0,403	0,362	4,34	0,402	0,369	6,97	0,4	0,392	9,06
16	0,402	0,363	4,39	0,391	0,393	7,51	0,393	0,405	9,47
Průměr	0,4065	0,370375	4,294375	0,3935	0,387188	7,254375	0,397563	0,397625	9,29875

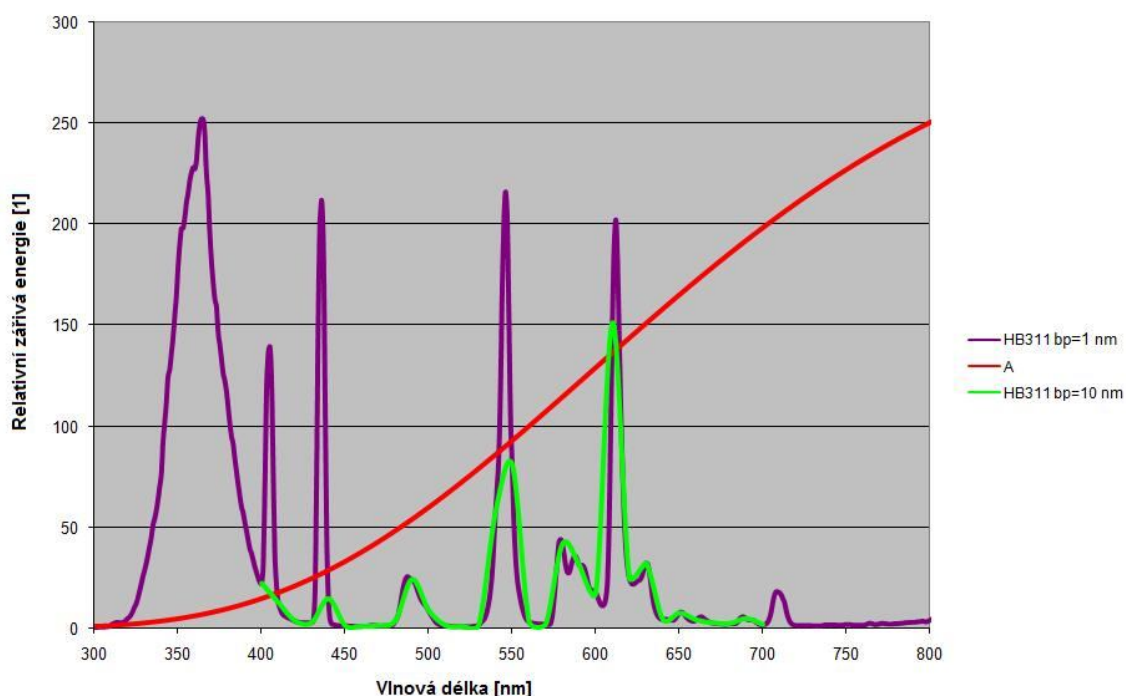
Tabulka č. 24: Naměřené hodnoty xyL_v bez vybočujících hodnot – černý standard [19]

3.1. Spektrální distribuce použitého zdroje osvětlení

Hodnocení vzorků bylo prováděno ve speciálně postaveném expozičním systému HB311, kde byla naměřena náhradní teplota chromatičnosti $T_{CP} = 2790$ K. Náhradní teplota chromatičnosti je užívána u zdrojů, jejichž spektrální průběh záření vykazuje náhlé změny teplot. [13]

Naměřená teplota chromatičnosti v expozičním systému HB311 je blízká normalizovanému zdroji osvětlení "A", který odpovídá umělému žárovkovému osvětlení a jeho teplota chromatičnosti odpovídá $T_C = 2856$ K.

Přístroj Color Analyzer CA – 210 na kterém bylo měření prováděno je nastaven na 2° pozorovatele a pracovní šířku pásma 1 nm. Aby mohly být hodnoty spektrální distribuce naměřené v expozičním systému HB311 a žárovkového osvětlení "A" srovnány, musela být nejprve pracovní šířka pásma převedena na 10 nm, protože hodnoty spektrální distribuce žárovkového osvětlení "A" byly měřeny na spektrofotometru SF 600, který má pracovní šířku 10 nm.



Graf č. 7: Poměrné spektrální složení svícené energie [19]

Na grafu č. 7 je znázorněno poměrné spektrální složení světelné energie expozičního systému HB311 měřené v pracovní šířce 1 nm, dále poměrné spektrální složení světelné energie expozičního systému HB311 měřené v pracovní šířce 10 nm a poměrné spektrální složení světelné energie žárovkového osvětlení.

Je patrné, že vlnová délka od 400 do 700 nm, což je vlnová délka viditelného záření, odpovídá v modré (400 – 480 nm), zelené (480 – 570 nm) i červené (570 – 700 nm) oblasti vlnové délce žárovkovému osvětlení.

Proto byly v následujících výpočtech použity trichromatické hodnoty normalizovaného světla "A" pro 2° pozorovatele.

3.2. Poloha vzorků v barevném prostoru CIE $L^*a^*b^*$

Kvůli zjištění přesné polohy barvy vzorků v CIE $L^*a^*b^*$ barevném prostoru bylo nutné naměřené hodnoty xyL_v přepočítat.

xyL_v									
	Bílý standard			Šedý standard			Černý standard		
cm	x	y	L_v	x	y	L_v	x	y	L_v
40,5	0,39	0,34313	158,88	0,4085	0,36981	45,575	0,4065	0,37038	4,294375
34,5	0,42369	0,36719	190,8125	0,41731	0,37038	54,0375	0,3935	0,38719	7,254375
28,5	0,4244	0,3724	241,3750	0,42506	0,36463	66,2625	0,39756	0,39763	9,29875
22,5	0,4243	0,3654	309,1250	0,42438	0,36744	85,9625	0,39663	0,4145	13,175
16,5	0,4172	0,3729	385,1875	0,42244	0,36719	110,8125	0,433	0,39988	18,85625
PRŮMĚR	0,4164	0,3642		0,4195	0,3679		0,4054	0,3939	

Tabulka č. 25: Průměrné naměřené hodnoty xyL_v bílého, šedého a černého standardu [19]

Průměrné naměřené hodnoty byly následně dány do poměru. Nejprve byl vypočítán poměr mezi bílým a černým standardem, poté poměr mezi šedým a černým standardem a nakonec poměr mezi bílým a šedým standardem. Poměry byly vypočítány pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

	Poměr bílý – černý standard			Poměr šedý – černý standard			Poměr bílý – šedý standard		
cm	x poměr	y poměr	L _v poměr	x poměr	y poměr	L _v poměr	x poměr	y poměr	L _v poměr
40,5	0,96556	0,92643	36,99607	1,00492	0,99848	10,61272	1	1	1
34,5	1,07672	0,94835	26,30309	1,06051	0,95658	7,448953	1	1	1
28,5	1,06744	0,93666	25,95779	1,06917	0,91701	7,125958	1	1	1
22,5	1,06981	0,88163	23,463	1,06997	0,88646	6,524668	1	1	1
16,5	0,96348	0,93248	20,42758	0,97561	0,91826	5,876699	1	1	1
PRŮMĚR			24,0379			6,7441			1

Tabulka č. 26: Vzájemné poměry standardů [19]

Následně byly hodnoty bílého, šedého a černého standardu v barevném prostoru xyY zprůměrovány.

	Bílý standard			Šedý standard			Černý standard		
cm	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y
40,5	0,44978	0,40808	90,78149	0,447601	0,407	25,46946	0,44777	0,407	4,014706
34,5	0,44978	0,40808	90,78149	0,447601	0,407	25,46946	0,44777	0,407	4,014706
28,5	0,44978	0,40808	90,78149	0,447601	0,407	25,46946	0,44777	0,407	4,014706
22,5	0,44978	0,40808	90,78149	0,447601	0,407	25,46946	0,44777	0,407	4,014706
16,5	0,44978	0,40808	90,78149	0,447601	0,407	25,46946	0,44777	0,407	4,014706
PRŮMĚR	0,4498	0,4081	90,7815	0,4476	0,4070	25,4695	0,4478	0,4070	4,0147

Tabulka č. 27: Hodnoty bílého, šedého a černého standardu v barevném prostoru xyY [19]

Poté byl proveden konverzní poměr hodnot bílého, šedého a černého standardu mezi naměřenými hodnotami xyL_v a hodnotami v barevném prostoru xyY. Nejprve byl vypočítán poměr průměrných hodnot x a y mezi naměřenými hodnotami a hodnotami v barevném prostoru xyY. Poté byl vypočítán poměr mezi hodnotami L_v a Y v každé vzdálenosti od zdroje osvětlení.

	Konverzní poměr								
	Bílý standard			Šedý standard			Černý standard		
cm	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y
40,5	0,926	0,892	1,75	0,937	0,904	1,789	0,905	0,968	1,07
34,5	0,926	0,892	2,102	0,937	0,904	2,122	0,905	0,968	1,807
28,5	0,926	0,892	2,659	0,937	0,904	2,602	0,905	0,968	2,316
22,5	0,926	0,892	3,405	0,937	0,904	3,375	0,905	0,968	3,282
16,5	0,926	0,892	4,243	0,937	0,904	4,351	0,905	0,968	4,697

Tabulka č. 28: Poměry naměřených hodnot a hodnot v barevném prostoru xyY bílého, šedého a černého standardu [19]

3.2.1. Přepočet naměřených hodnot xyL_v na hodnoty L^* a b^* u fialového vzorku

cm	x	y	L_v
40,5	0,37238	0,26975	26,35
34,5	0,39269	0,25213	22,875
28,5	0,39581	0,25263	26,66875
22,5	0,39313	0,25281	33,45625
16,5	0,38988	0,25519	37,16875

Tabulka č. 29: Naměřené hodnoty xyL_v fialového vzorku [19]

Byly vypočítány hodnoty barevného prostoru xyY z poměru naměřených hodnot xyL_v fialového vzorku a konverzního poměru hodnot barevného prostoru xyY bílého standardu. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	x	y	Y
40,5	0,40221	0,30224	15,05644
34,5	0,42415	0,28249	10,88307
28,5	0,42753	0,28305	10,03016
22,5	0,42463	0,28326	9,825178
16,5	0,42112	0,28593	8,759979

Tabulka č. 30: Vypočítané hodnoty fialového vzorku v barevném prostoru xyY [19]

V tabulce č. 31 je uveden přepoččet trichromatických hodnot XYZ. Pro výpočet byly použity hodnoty z tabulky č. 30. Hodnoty X byly vypočítány podle vzorce $X = \frac{x}{y} \cdot Y$. Hodnoty Z byly vypočítány podle vzorce $Z = \frac{1-x-y}{y} \cdot Y$. Hodnoty Y jsou totožné. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	X	Y	Z
40,5	20,04	15,06	14,72273
34,5	16,34	10,88	11,30133
28,5	15,15	10,03	10,25556
22,5	14,73	9,825	10,13193
16,5	12,9	8,76	8,975419

Tabulka č. 31: Vypočítané trichromatické hodnoty XYZ fialového vzorku [19]

Dále byly vypočítány chromatické hodnoty xy podle vzorců $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ a $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	x	y
40,5	0,4022	0,302
34,5	0,4242	0,282
28,5	0,4275	0,283
22,5	0,4246	0,283
16,5	0,4211	0,286

Tabulka č. 32: Vypočítané chromatické hodnoty xy fialového vzorku [19]

Pomocí trichromatických hodnot normalizovaného světla $X_n Y_n Z_n$ byl vypočítán poměr mezi hodnotami XYZ a $X_n Y_n Z_n$. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	X_n	Y_n	Z_n
40,5	109,9	100	35,58
34,5	109,9	100	35,58
28,5	109,9	100	35,58
22,5	109,9	100	35,58
16,5	109,9	100	35,58

Tabulka č. 33: Trichromatické hodnoty normalizovaného světla $X_n Y_n Z_n$ [19]

cm	X /X _n	Y /Y _n	Z /Z _n
40,5	0,1824	0,1506	0,4138
34,5	0,1488	0,1088	0,3176
28,5	0,1379	0,1003	0,2882
22,5	0,1341	0,0983	0,2848
16,5	0,1174	0,0876	0,2523

Tabulka č. 34: Vypočítané hodnoty X /X_n Y /Y_n Z /Z_n [19]

Podle vzorců pro výpočet L* a* b* hodnot byly vypočítány hodnoty L* a* b*. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

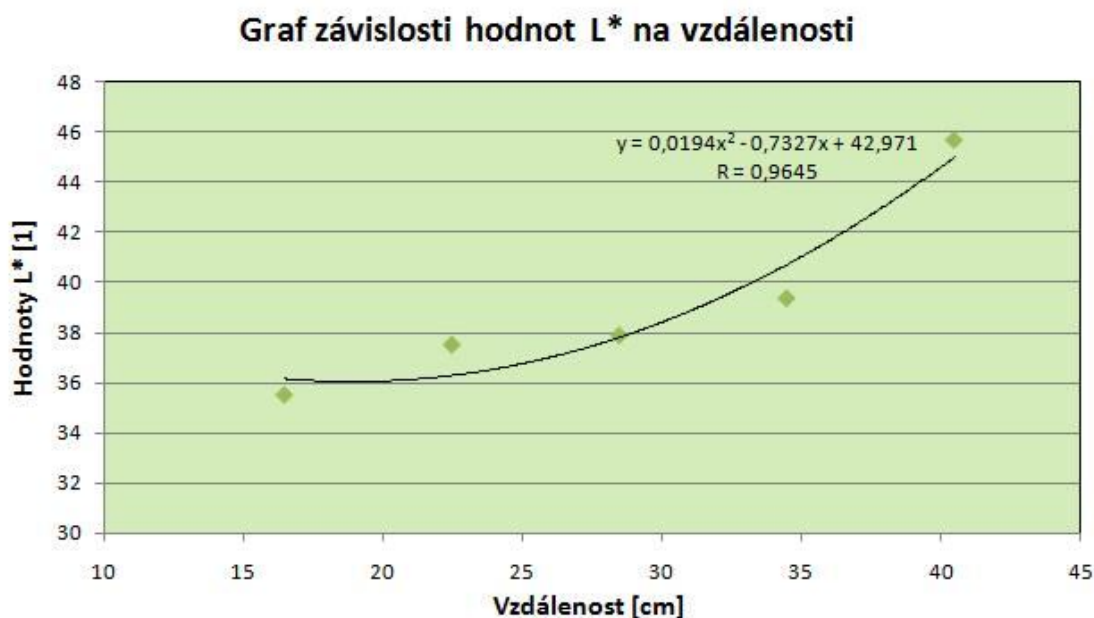
$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

cm	L*	a*	b*
40,5	45,71	17,56	-42,64
34,5	39,38	26,21	-40,97
28,5	37,90	26,02	-39,19
22,5	37,53	25,19	-39,29
16,5	35,52	22,80	-37,55

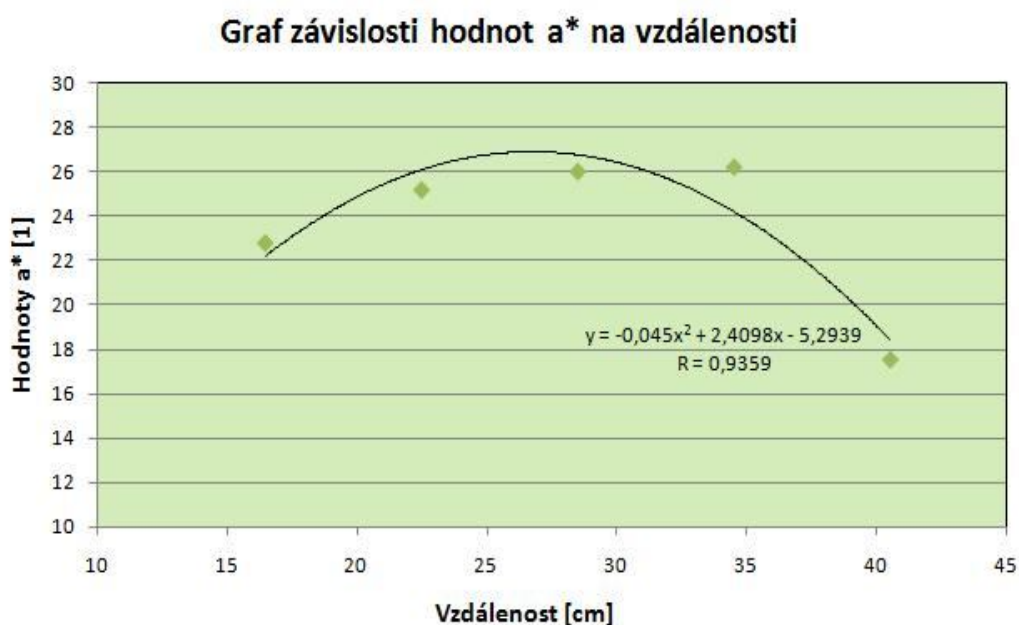
Tabulka č. 35: Vypočítané hodnoty L* a* b* fialového vzorku [19]



Graf č. 8: Závislosti hodnot L^* fialového vzorku na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 8 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení hodnota L^* stoupá. Jednotlivá data byla proložena polynomem druhého stupně a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9645. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = 0,0194x^2 - 0,7327x + 42,971$.

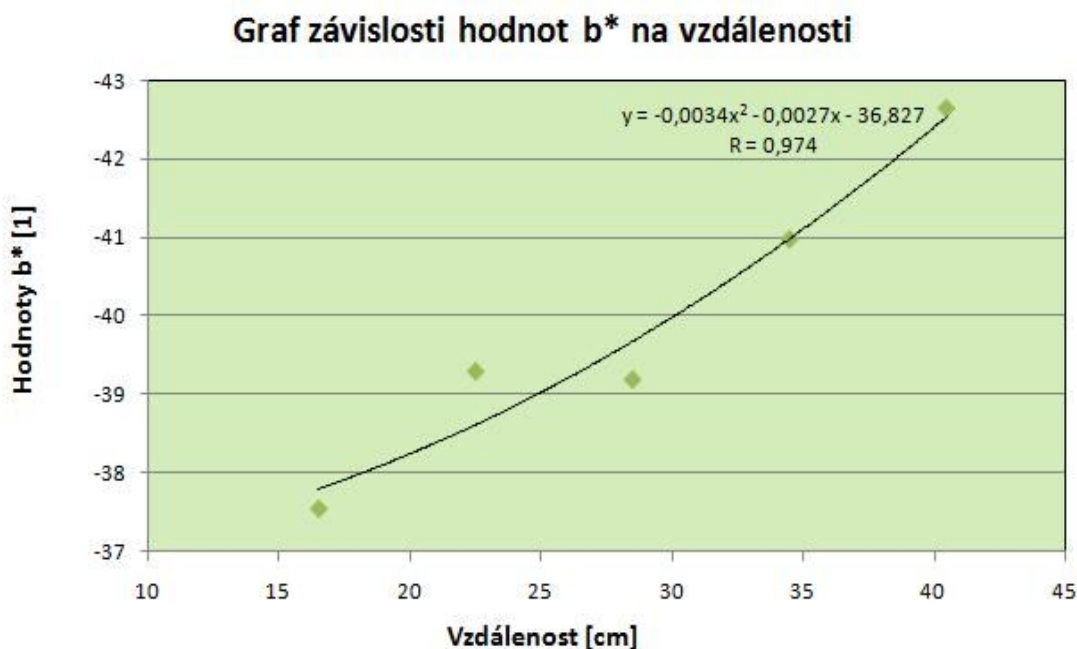
Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 35.



Graf č. 9: Závislost hodnot a^* fialového vzorku na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 9 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení hodnota a^* nejdříve stoupá a poté klesá. Jednotlivá data byla proložena polynomem druhého stupně a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9359. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = -0,045x^2 + 2,4098x - 5,2939$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 35.



Graf č. 10: Závislost hodnot b^* fialového vzorku na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 10 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení hodnota b^* klesá. Jednotlivá data byla proložena polynomem druhého stupně a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,974. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = -0,0034x^2 - 0,0027x - 36,827$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 35.

3.2.2. Přepočet naměřených hodnot xyL_v na hodnoty $L^* a^* b^*$ u modrého vzorku

cm	x	y	L_v
40,5	0,31206	0,35881	54,55
34,5	0,31706	0,34425	54,55625
28,5	0,31281	0,34356	66,275
22,5	0,31056	0,33931	81,84375
16,5	0,31006	0,33969	100,06875

Tabulka č. 36: Naměřené hodnoty xyL_v modrého vzorku [19]

U modrého vzorku byl zvolen stejný postup přepočtu hodnot xyL_v na hodnoty $L^* a^* b^*$ jako u fialového vzorku.

Byly vypočítány hodnoty barevného prostoru xyY z poměru naměřených hodnot xyL_v modrého vzorku a konverzního poměru hodnot barevného prostoru xyY bílého standardu. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	x	y	Y
40,5	0,33707	0,40203	31,16998
34,5	0,34247	0,38572	25,95584
28,5	0,33788	0,38495	24,92612
22,5	0,33545	0,38018	24,03525
16,5	0,33491	0,3806	23,58433

Tabulka č. 37: Vypočítané hodnoty modrého vzorku v barevném prostoru xyY [19]

V tabulce č. 38 je uveden přepočet na trichromatické hodnoty XYZ. Pro výpočet byly použity hodnoty z tabulky č. 37. Hodnoty X byly vypočítány podle vzorce $X = \frac{x}{y} \cdot Y$. Hodnoty Z jsou vypočítány podle vzorce $Z = \frac{1-x-y}{y} \cdot Y$. Hodnoty Y jsou totožné. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	X	Y	Z
40,5	26,13	31,17	20,22771
34,5	23,05	25,96	18,2911
28,5	21,88	24,93	17,94774
22,5	21,21	24,04	17,97774
16,5	20,75	23,58	17,62842

Tabulka č. 38: Vypočítané trichromatické hodnoty XYZ modrého vzorku [19]

Dále byly vypočítány chromatické hodnoty x y podle vzorců $x = \frac{R}{R+Y+Z}$ a $y = \frac{Y}{R+Y+Z}$. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	x	y
40,5	0,3371	0,402
34,5	0,3425	0,386
28,5	0,3379	0,385
22,5	0,3354	0,38
16,5	0,3349	0,381

Tabulka č. 39: Vypočítané chromatické hodnoty xy modrého vzorku [19]

Pomocí trichromatických hodnot normalizovaného světla $X_n Y_n Z_n$ byl vypočten poměr mezi hodnotami XYZ a $X_n Y_n Z_n$. Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

cm	X_n	Y_n	Z_n
40,5	109,9	100	35,58
34,5	109,9	100	35,58
28,5	109,9	100	35,58
22,5	109,9	100	35,58
16,5	109,9	100	35,58

Tabulka č. 40: Trichromatické hodnoty normalizovaného světla $X_n Y_n Z_n$ [19]

cm	X/X_n	Y/Y_n	Z/Z_n
40,5	0,2379	0,3117	0,5685
34,5	0,2098	0,2596	0,5141
28,5	0,1992	0,2493	0,5044
22,5	0,1931	0,2404	0,5053
16,5	0,1889	0,2358	0,4955

Tabulka č. 41: Vypočítané hodnoty $X/X_n Y/Y_n Z/Z_n$ [19]

Podle vzorců pro výpočet L^* , a^* , b^* hodnot byly vypočítány hodnoty L^* , a^* , b^* .
Výpočet byl proveden pro každou vzdálenost od zdroje osvětlení.

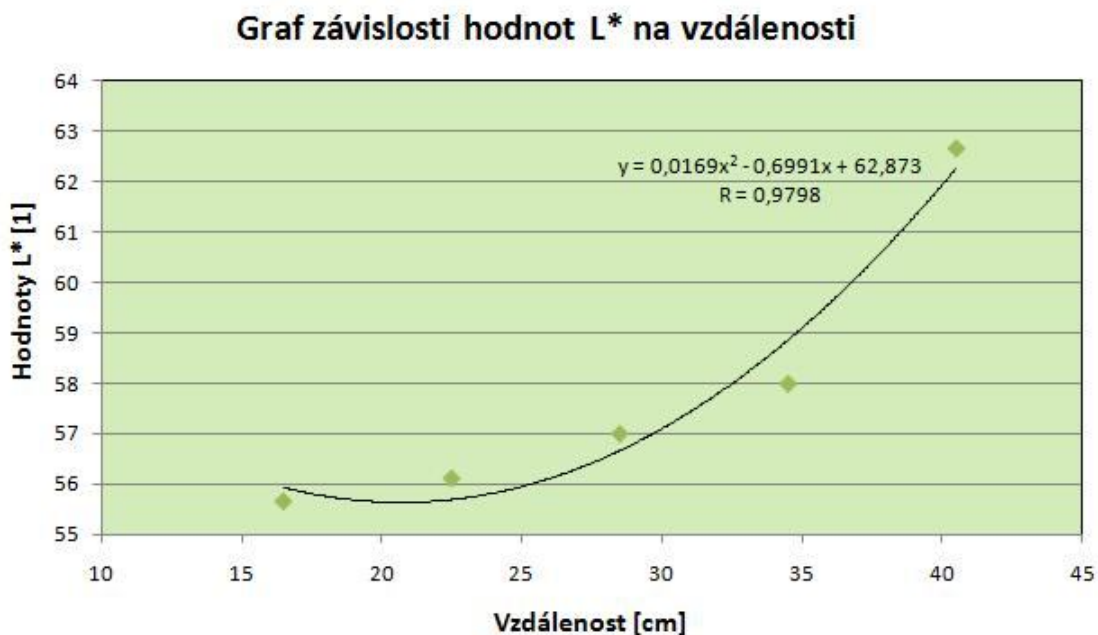
$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

cm	L^*	a^*	b^*
40,5	62,65	-29,20	-30,08
34,5	58,00	-21,85	-32,64
28,5	57,00	-22,67	-33,34
22,5	56,12	-21,90	-34,95
16,5	55,67	-22,02	-34,69

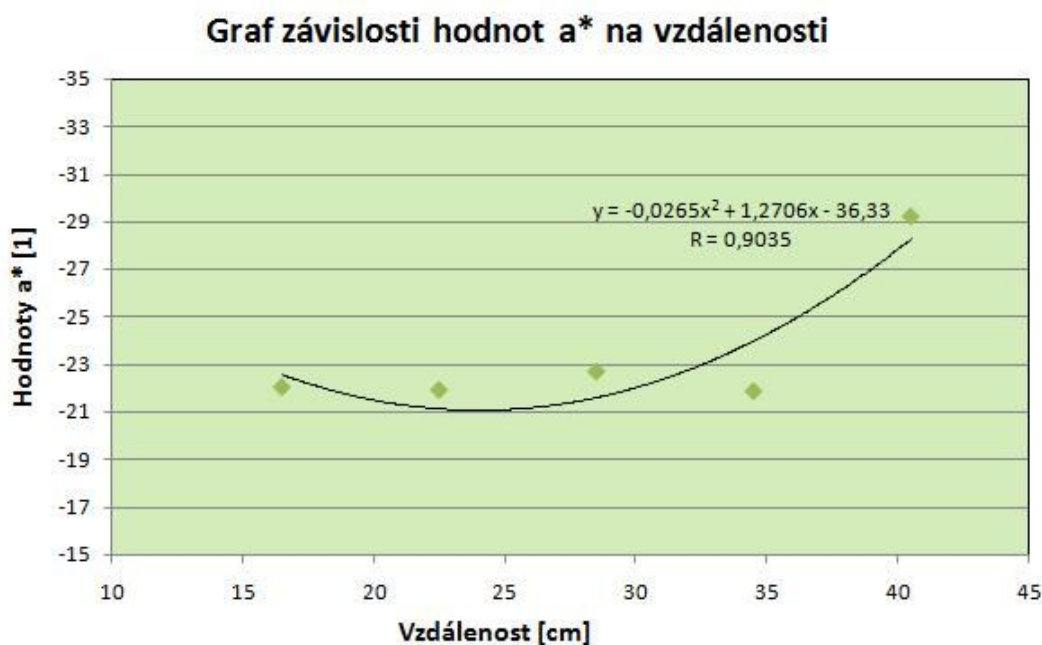
Tabulka č. 42: Vypočítané hodnoty L^* , a^* , b^* modrého vzorku [19]



Graf č. 11: Závislost hodnot L^* modrého vzorku na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 11 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení hodnota L^* mírně klesá a poté stoupá. Jednotlivá data byla proložena polynomem druhého stupně a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9798. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = 0,0169x^2 - 0,6691x + 62,873$.

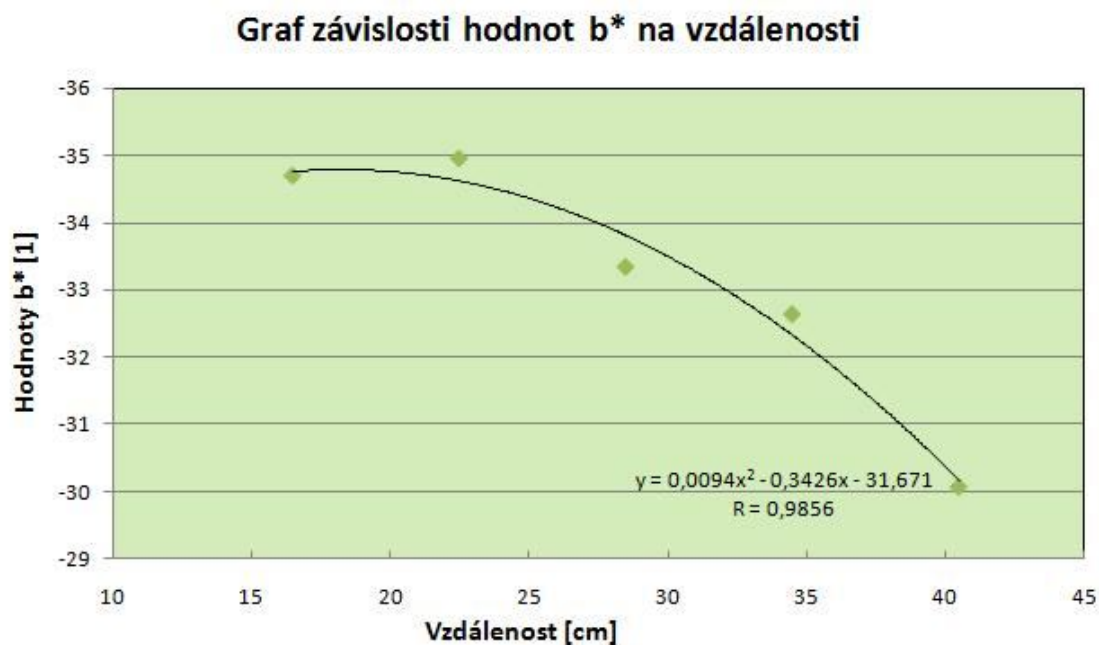
Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 42.



Graf č. 12: Závislost hodnot a^* modrého vzorku na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 12 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení hodnota a^* nejdříve mírně stoupá a poté klesá. Jednotlivá data byla proložena polynomem druhého stupně a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9035. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = -0,0265x^2 + 1,2706x - 36,33$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 42.



Graf č. 13: Závislost hodnot b^* modrého vzorku na vzdálenosti od zdroje osvětlení [19]

Z dané závislosti v grafu č. 13 je patrné, že se vzrůstající vzdáleností od zdroje osvětlení hodnota b^* stoupá. Jednotlivá data byla proložena polynomem druhého stupně a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,9856. Rovnice proložené křivky odpovídá $y = 0,0094x^2 - 0,3426x - 31,671$.

Grafické vyjádření je zpracováno s hodnotami, které jsou uvedeny v tabulce č. 42.

4. NAVRŽENÍ JEDNODUCHÉHO TEXTILNÍHO DOZIMETRU UV ZÁŘENÍ

Na základě předchozích měření a výpočtů byl navržen a vyroben jednoduchý textilní dozimetr.

Ukázalo se, že nelze použít lineární stupnici na odstupňování jednotlivých koncentrací v dozimetru, protože mezi hodnotami vizuální odchylky a ozáření, mezi hodnotami vizuální odchylky a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení a mezi hodnotami ozáření a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení není lineární závislost, jak je patrné z grafů č. 1 – 6.

Taktéž mezi hodnotami $L^*a^*b^*$ standardní fialové poloviny vzorku a standardní modré poloviny vzorku a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení není lineární závislost, jak je patrné z grafů č. 8 – 13.

Nejprve byly podle vypočítaných hodnot $L^*a^*b^*$ standardní fialové poloviny vzorku, které jsou uvedeny v tabulce č. 35 a podle vypočítaných hodnot $L^*a^*b^*$ standardní modré poloviny vzorku, které jsou uvedeny v tabulce č. 42 v programu Datacolor Match vypočítány receptury jednotlivých koncentrací na standardní fialový a standardní modrý pigment na výrobu jednoduchého textilního dozimetru UV záření.

Ukázalo se ale, že tyto koncentrace přesně neodpovídají naměřeným hodnotám. Z tohoto důvodu se přistoupilo k namíchání jednotlivých koncentrací kupírováním z receptur pro modrý i fialový pigment uvedených v tabulkách č. 4 a č. 5.

Kupírování se může provádět několika způsoby. V tomto případě se jednalo o zředování komplexní akrylátovou záhustkou již namíchaných pigmentů připravených podle receptur. Bylo připraveno sedm koncentrací a sice; 1:12, 1:9, 1:4, 2:3, 2:1, 4:1 a čistý pur, což je nezředěný pigment.

Textilní dozimetr byl vyroben technikou sítotisku dvěma stěry s přtlakem $3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ na tiskacím stroji Johannes Zimmer, typ mini MDF/752 na bavlněném plátně pigmenty VERSAPRINT® a Photopia®.

Celkem byly vyrobeny 4 dozimetry dvou druhů a sice; 2 fialové a 2 modré, všechny o rozměrech $12 \times 30 \text{ cm}$. Plocha každého vzorku byla následně rozdělena na dvě poloviny, z nichž první byla potištěna standardním pigmentem VERSAPRINT® a druhá fotochromním pigmentem Photopia®.

Parametry použité tkaniny jsou přehledně vypsány na straně č. 31.

Na první poloviny dozimetrů byly použity pigmenty VERSAPRINT® od firmy Synthesia v Pardubicích v sedmi koncentracích získaných kupírováním podle receptur, které jsou uvedeny v tabulkách č. 4 a č. 5.

Na druhé poloviny dozimetrů byly použity fotochromní pigmenty Photopia® od firmy Matsui podle receptur, které jsou uvedeny na straně č. 33.

Jako základ pro všechna barviva byla použita komplexní akrylátová záhustka.

Po nátisku a následném zasušení na sušícím stole byly vzorky fixovány v sušící skříni. Teplota fixace pro pigmenty VERSAPRINT® byla 165°C a pro pigmenty Photopia® 75°C. Doba fixace pro pigmenty VERSAPRINT® i pro pigmenty Photopia® byla 5 minut.



Obrázek č. 15: Fialový dozimetr [19]



Obrázek č. 13: Modrý dozimetr [19]

Nakonec byla u obou dozimetrů každá ze sedmi koncentrací přiřazena ke vzdálenostem od zdroje osvětlení, pro které byly na základě předchozích měření vypočítány hodnoty $L^*a^*b^*$ fialové a modré standardní poloviny vzorků.

Byla změřena hodnota ozáření, které se musí vystavit fotochromní polovina dozimetru, aby odstín zintenzívněl a přibližně odpovídal pigmentu každé koncentrace. Každá hodnota ozáření byla následně přiřazena k nejbližší již naměřené hodnotě v místě s nejvyšší intenzitou ozáření expozičního systému HB311.

4.1. Přiřazení koncentrací fialového dozimetru

Koncentrace pigmentů	1:12	1:9	1:4	2:3	2:1	4:1	PUR
Ozářenost [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]	80	204	1956	2357	5932	7636	8729
Přiřazené hodnoty ozářenosti [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]/ jejich vzdálenosti od zdroje osvětlení [cm]	1825/37			2259/34,5	5770/16,5	7395/10,5	

Tabulka č. 43: Koncentrace pigmentů, hodnoty ozářenosti a k nim přiřazené hodnoty ozářenosti a jejich vzdálenosti od zdroje osvětlení pro fialový dozimetr [19]

V tabulce č. 43 jsou uvedeny koncentrace pigmentů použité na výrobu fialového dozimetru.

Hodnoty ozářenosti jsou hodnoty, kterým se musí vystavit fotochromní polovina dozimetru, aby odstín zintenzivněl a přibližně odpovídal pigmentu každé koncentrace.

Přiřazené hodnoty ozářenosti a jejich vzdálenosti od zdroje osvětlení jsou hodnoty naměřené v místě nejvyšší intenzity ozářenosti v expozičním systému HB311 a jsou převzaty z tabulky č. 13.

4.2. Přiřazení koncentrací modrého dozimetru

Koncentrace pigmentů	1:12	1:9	1:4	2:3	2:1	4:1	PUR
Ozářenost [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]	60	115	1461	2259	2787	3680	5752
Přiřazené hodnoty ozářenosti [$\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]/ jejich vzdálenosti od zdroje osvětlení [cm]	1825/37			2259/34,5		3201/28,5	5770/16,5

Tabulka č. 44: Koncentrace pigmentů, hodnoty ozářenosti a k nim přiřazené hodnoty ozářenosti a jejich vzdálenosti od zdroje osvětlení pro modrý dozimetr

V tabulce č. 44 jsou uvedeny koncentrace pigmentů použité na výrobu modrého dozimetru.

Hodnoty ozáření jsou hodnoty, kterým se musí vystavit fotochromní polovina dozimetru, aby odstín zintenzívněl a přibližně odpovídal pigmentu každé koncentrace.

Přiřazené hodnoty ozáření a jejich vzdálenosti od zdroje osvětlení jsou hodnoty naměřené v místě nejvyšší intenzity ozáření v expozičním systému HB311 a jsou převzaty z tabulky č. 14.

5. REKAPITULACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

5.1. Příprava vzorků

Podrobný popis přípravy vzorků je uveden na stranách č. 44 – 46. Receptury na použité pigmenty VERSAPRINT[®] jsou uvedeny v tabulkách č. 4 a č. 5. Mají však jiné vzorovací pásmo než použité fotochromní pigmenty Photopia[®]. To způsobilo komplikace při receptování a i po několika korekcích receptur se nepodařilo odstíny standardní poloviny a fotochromní poloviny vzorků sladit.

5.2. Subjektivní hodnocení

Podrobný popis subjektivního hodnocení vzorků je uveden na stranách č. 47 – 62. Výsledky posuzování změny barevného odstínu podle šedé stupnice jsou uvedeny v tabulkách č. 6 – 9. Radiometrem bylo provedeno měření intenzity ozáření a osvětlenosti. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 10 a č. 11. Pro srovnání je uvedena tabulka č. 12, která obsahuje hodnoty intenzity ozáření dopadající na 50° severní šířky. V obrazovém vyjádření jsou zpracovány závislosti vizuální odchylky na vzdálenosti od zdroje osvětlení, závislosti vizuální odchylky na ozáření a závislosti ozáření na vzdálenosti od zdroje osvětlení a jsou uvedeny v grafech č. 1 – 6. Data ve všech grafech mají exponenciální závislost.

5.3. Objektivní hodnocení

Podrobný popis průběhu objektivního měření vzorků je uveden na stranách č. 63 – 87. Vzorky byly měřeny kolorimetrem v místech s největší hodnotou ozáření v pěti vzdálenostech od zdroje osvětlení. Oba vzorky byly v každé poloze změřeny dvacetkrát a z každého měření byly následně vyřazeny čtyři vybočující hodnoty. Poté byl stejným způsobem změřen černý, šedý a bílý barevný standard a byly naměřeny hodnoty xyL_v . Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 15 – 24.

Následně byly zjištěny spektrální distribuce v expozičním systému HB311, kde byla naměřena náhradní teplota chromatičnosti $T_{CP} = 2790$ K. Náhradní teplota chromatičnosti je blízká normalizovanému zdroji osvětlení "A", který odpovídá umělému žárovkovému osvětlení a jeho teplota chromatičnosti odpovídá $T_C = 2856$ K.

Měření spektrální distribuce expozičního systému HB311 bylo prováděno na kolorimetru, který je nastaven na pracovní šířku pásma 1 nm a hodnoty spektrální

distribuce žárovkového osvětlení "A" byly měřeny na spektrofotometru, který má pracovní šířku 10 nm. Aby mohly být hodnoty srovnány, musela být pracovní šířka pásma převedena na 10 nm. V modré, zelené i červené oblasti viditelného záření křivka spektrální distribuce expozičního systému HB311 v pracovní šířce 10 nm odpovídá křivce spektrální distribuci žárovkového osvětlení "A". V následujících výpočtech byly použity trichromatické hodnoty normalizovaného osvětlení "A" pro 2° pozorovatele.

Poté byly přepočítány naměřené hodnoty xyL_v na hodnoty $L^*a^*b^*$. Postup výpočtů je uveden v tabulkách č. 25 – 42. Vypočítané hodnoty $L^*a^*b^*$ jsou v obrazovém vyjádření uvedeny v grafech č. 8 – 13.

5.4. Navržení jednoduchého textilního dozimetru UV záření

Podrobný popis výroby textilních dozimetrů je uveden na stranách č. 88 – 91.

Ukázalo se, že nelze použít lineární stupnici na odstupňování jednotlivých koncentrací v dozimetru, protože mezi hodnotami vizuální odchylky a ozáření, mezi hodnotami vizuální odchylky a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení a mezi hodnotami ozáření a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení není lineární závislost, jak je patrné z grafů č. 1 – 6.

Taktéž mezi hodnotami $L^*a^*b^*$ standardní fialové poloviny vzorku a standardní modré poloviny vzorku a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení není lineární závislost, jak je patrné z grafů č. 8 – 13.

Nejprve byly podle vypočítaných hodnot $L^*a^*b^*$, které jsou uvedeny v tabulkách č. 35 a č. 42 v programu Datacolor Match vypočítány receptury jednotlivých koncentrací pro oba dozimetry. Znovu se však ukázalo, že ty to koncentrace přesně neodpovídají naměřeným hodnotám a proto byly jednotlivé koncentrace namíchány kupírováním z receptur pro modrý a fialový pigment uvedených v tabulkách č. 4 a č. 5. Bylo připraveno sedm koncentrací a stejnou technikou jako modré a fialové vzorky byly následně vyrobeny 2 modré a 2 fialové dozimetry. Nakonec byla u obou dozimetrů každá ze sedmi koncentrací přiřazena ke vzdálenostem od zdroje osvětlení, pro které byly na základě předchozích měření vypočítány hodnoty $L^*a^*b^*$ fialové a modré standardní poloviny vzorků. Přiřazené koncentrace jsou uvedeny v tabulkách č. 43 a č. 44.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření jednoduchého textilního dozimetru, který je citlivý na dopadající ultrafialové záření na základě provedených měření a výpočtů.

Diplomová práce byla rozdělena do dvou částí. V první, teoretické části bylo podrobně popsáno ultrafialové záření, jeho účinky na organismus a na textilní materiály, možný způsob ochrany před ním a princip UV absorbérů. Dále bylo zpracováno téma dozimetrie, dosavadní poznatky v této oblasti a některé druhy dozimetrů. Byl vysvětlen princip barevného prostoru CIEL^{*}a^{*}b^{*}, také smart materiály, fotochromismus a fotochromní materiály.

Experimentální část byla rozdělena do pěti kapitol.

V první byla popsána výroba vzorků, na kterých probíhala všechna měření. Byla provedena technikou sítotisku dvěma stěry s přtlakem $3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ na tiskacím stroji Johannes Zimmer, typ mini MDF/752 na bavlněném plátně pigmenty VERSAPRINT[®] a Photopia[®].

Receptury jsou vypočítány programem Datacolor Match na základě změřených hodnot L^{*}a^{*}b^{*} natištěného modrého a fialového fotochromního pigmentu. Receptury uvedené v tabulkách č. 4 a č. 5 jsou třetí korekcí výpočtu. Tyto se nejvíce blížily naměřeným hodnotám. Předchozí dvě receptury nemohly být použity, protože naměřeným hodnotám neodpovídaly. Podrobný popis výroby vzorků je uveden na stranách č. 44 – 46.

V druhé kapitole bylo zpracováno subjektivní hodnocení vzorků. Bylo prováděno ve speciálně postaveném expozičním systému HB311. 18 hodnotitelů třikrát posuzovalo podle stupňů šedé stupnice pro hodnocení změny odstínu fialový a modrý vzorek v místě s nejvyšší intenzitou ozáření ve vzdálenostech ve 40,5, 34,5, 28,5, 22,5, 16,5, 10,5 a 4,5 cm od zdroje osvětlení. Opakování posuzování probíhalo s odstupem alespoň jednoho týdne. Celkem bylo provedeno 756 hodnocení. Výsledky subjektivního hodnocení jsou uvedeny v tabulkách č. 6 – 9.

Dále bylo radiometrem Goldilux[®] provedeno měření intenzity ozáření a osvětlenosti. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 10 a č. 11. Pro srovnání je zde uvedena tabulka č. 12, která obsahuje hodnoty intenzity ozáření dopadající na 50° severní šířky. Bylo provedeno zpracování závislosti vizuální odchylky na vzdálenosti od zdroje osvětlení, závislosti vizuální odchylky na ozáření a závislosti

ozáření na vzdálenosti od zdroje osvětlení. Obrazové vyjádření je uvedeno v grafech č. 1 – 6. Podrobný popis průběhu subjektivního hodnocení vzorků je uveden na stranách 47 – 62.

Ve třetí kapitole bylo zpracováno objektivní měření vzorků. Modrý a fialový vzorek byl následně měřen kolorimetrem v místech s největší hodnotou ozáření v pěti vzdálenostech od zdroje osvětlení a sice; ve 40,5, 34,5, 28,5, 22,5 a 16,5 cm. Kvůli dodržení úhlu měření se vzorky nemohly měřit ve vzdálenostech 10,5 a 4,5 cm. Oba vzorky byly v každé poloze změřeny dvacetkrát a z každého měření byly následně vyřazeny čtyři vybočující hodnoty. Poté byl stejným způsobem změřen černý, šedý a bílý barevný standard a byly naměřeny hodnoty xyL_v . Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 15 – 24.

Následně bylo nutné zjistit spektrální distribuci v expozičním systému HB311, kde byla naměřena náhradní teplota chromatičnosti $T_{CP} = 2790$ K. Bylo zjištěno, že náhradní teplota chromatičnosti je blízká normalizovanému zdroji osvětlení "A", který odpovídá umělému žárovkovému osvětlení a jeho teplota chromatičnosti odpovídá $T_C = 2856$ K.

Měření spektrální distribuce expozičního systému HB311 bylo prováděno na kolorimetru Color Analyzer CA – 210, který je nastaven na pracovní šířku pásma 1 nm a hodnoty spektrální distribuce žárovkového osvětlení "A" byly měřeny na spektrofotometru SF 600, který má pracovní šířku 10 nm. Aby mohly být hodnoty srovnány, musela být pracovní šířka pásma převedena na 10 nm. Bylo zjištěno, že v modré, zelené i červené oblasti viditelného záření křivka spektrální distribuce expozičního systému HB311 v pracovní šířce 10 nm odpovídá křivce spektrální distribuci žárovkového osvětlení "A", a proto byly v následujících výpočtech použity trichromatické hodnoty normalizovaného osvětlení "A" pro 2° pozorovatele.

Poté byly přepočítány naměřené hodnoty xyL_v na hodnoty $L^*a^*b^*$. Postup výpočtů je uveden v tabulkách č. 25 – 42. Vypočítané hodnoty $L^*a^*b^*$ jsou v obrazovém vyjádření uvedeny v grafech č. 8 – 13. Podrobný popis průběhu objektivního měření vzorků je uveden na stranách 63 – 87.

Ve čtvrté kapitole byla zpracována výroba jednoduchého textilního dozimetru UV záření. Ukázalo se, že nelze použít lineární stupnici na odstupňování jednotlivých koncentrací v dozimetru, protože mezi hodnotami vizuální odchylky a ozáření, mezi hodnotami vizuální odchylky a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení a mezi

hodnotami ozáření a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení není lineární závislost, jak je patrné z grafů č. 1 – 6.

Taktéž mezi hodnotami $L^*a^*b^*$ standardní fialové poloviny vzorku a standardní modré poloviny vzorku a vzdálenosti od použitého zdroje osvětlení není lineární závislost, jak je patrné z grafů č. 8 – 13. Nejprve byly podle vypočítaných hodnot $L^*a^*b^*$, které jsou uvedeny v tabulkách č. 35 a č. 42 v programu Datacolor Match vypočítány receptury jednotlivých koncentrací pro fialový i modrý dozimetr. Znovu se však ukázalo, že ty to koncentrace přesně neodpovídají naměřeným hodnotám a proto byly jednotlivé koncentrace namíchány kupírováním z receptur pro modrý a fialový pigment uvedených v tabulkách č. 4 a č. 5. Bylo připraveno sedm koncentrací a sice; 1:12, 1:9, 1:4, 2:3, 2:1, 4:1 a čistý pur. Stejnou technikou jako modré a fialové vzorky byly následně vyrobeny 2 modré a 2 fialové dozimetry. Nakonec byla u obou dozimetrů každá ze sedmi koncentrací přiřazena ke vzdálenostem od zdroje osvětlení, pro které byly na základě předchozích měření vypočítány hodnoty $L^*a^*b^*$ fialové a modré standardní poloviny vzorků. Přiřazené koncentrace jsou uvedeny v tabulkách č. 43 a č. 44. Podrobný popis výroby textilních dozimetrů je uveden na stranách č. 88 – 91.

V páté kapitole byly zrekapitulovány výsledky měření, které jsou uvedeny na stranách č. 90 a č. 91.

Na výrobu standardní poloviny vzorků a následně i dozimetrů byly použity pigmenty VERSAPRINT®. Byly vybrány kvůli jednoduchému použití, nízkým výrobním nákladům, univerzálnímu použití na různých materiálech a směsích vláken a bez nutnosti praní po tisku. Mají však jiné vzorovací pásmo než použité fotochromní pigmenty Photopia®. To vedlo ke komplikacím při receptování a i po několika korekcích receptur se nepodařilo odstíny standardní poloviny a fotochromní poloviny vzorků sladit.

Další studie jednoduchého textilního dozimetru UV záření by se tudíž mohla zaměřit na výběr pigmentů s jiným vzorovacím pásmem, než které byly použity.

Dále by se mohla věnovat vizuálním pokusům s méně stupňovou škálou a získat tak pouze jeden stupeň určující škodlivou intenzitu ozáření.

Citace, seznam použité literatury

- [1] Krutská T.: Průzkum trhu v oblasti textilií chránících proti UV záření; Bakalářská práce, TUL Liberec 2006
- [2] <http://www.chmi.cz/meteo/ozon/Uv-co.html>, staženo 13. dubna 2008
- [3] <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#4>, staženo 27. listopadu 2007
- [4] http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/4-vysoce_funkcni2.pdf, staženo 12. října 2007
- [5] <http://www.solen.cz/pdfs/med/2007/06/09.pdf>, staženo 27. listopadu 2007
- [6] <http://www.specialchem4polymers.com/tc/UVLightStabilizers/index.aspx?id=2260> staženo 27. listopadu 2007
- [7] <http://www.optics.arizona.edu/Palmer/rpfaq/rpfaq.htm#radiometry>, staženo 12. března 2008
- [8] <http://projektalfa.ic.cz/fotometrie.htm>, staženo 12. března 2008
- [9] prof. Ing. Josef Šeda, Dr. Sc.: Základy dozimetrie; ČVUT Praha 1991
- [10] http://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizuj%C3%ADc%C3%AD_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD, staženo 16. prosince 2008
- [11] <http://www.reprodukce-barev.org/?menu=3&hlav=3>, staženo 7. ledna 2008
- [12] Vik M.: Základy měření barevnosti I. díl; TUL Liberec 1995
- [13] <http://splhej.wz.cz/referat/chemie/28/Barviva/>, staženo 16. ledna 2008
- [14] <http://kipl.fjfi.cvut.cz/cz/SMAM/sylabus.pdf>, staženo 23. ledna 2008
- [15] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotochromismus>, staženo 20. ledna 2008
- [16] http://centrum.vslib.cz/centrum/centrum/2Pristroje/2.3_disertacni_prace/%5B2.3.2%5D.pdf, staženo 9. února 2008
- [17] receptury vypočítané v programu Datacolor Match
- [18] <http://www.energ.cz/index.phtml?polozka=28>, staženo 2. května 2008
- [19] Vlastní zpracování
- [20] <http://www.gymnaslo.cz/old/fyzika/Radiometrickeveliciny.htm>, staženo 11. dubna 2008

Seznam tabulek

TABULKA Č. 1: HODNOTY SLUNEČNÍHO OCHRANNÉHO FAKTORU (SPF) DOPORUČENÉ PRO JEDNOTLIVÉ FOTOTYPY KŮŽE PŘI PRVNÍM OPALOVÁNÍ [2]	15
TABULKA Č. 2: PŘÍKLADY UV OCHRANNÝCH LÁTEK TVOŘÍCÍCH SKUPINU SLUNEČNÍCH FILTRŮ [5]	19
TABULKA Č. 3: DRUHY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ [3]	23
TABULKA Č. 4: RECEPTURA NA FIALOVÝ PIGMENT SE ZAŠKRTNUTOU POUŽITOU KONCENTRACÍ NA 1 KG [17]	44
TABULKA Č. 5: RECEPTURA NA MODRÝ PIGMENT SE ZAŠKRTNUTOU POUŽITOU KONCENTRACÍ NA 1 KG [17]	44
TABULKA Č. 6: SUBJEKTIVNĚ POSUZOVANÉ HODNOTY ROZDÍLŮ FIALOVÉ FOTOCHROMNÍ POLOVINY VZORKU OD STANDARDNÍ POLOVINY VZORKU PODLE ŠEDÉ STUPNICE – HODNOTITELÉ 1 – 10 [19]	48
TABULKA Č. 7: SUBJEKTIVNĚ POSUZOVANÉ HODNOTY ROZDÍLŮ FIALOVÉ FOTOCHROMNÍ POLOVINY VZORKU OD STANDARDNÍ POLOVINY VZORKU PODLE ŠEDÉ STUPNICE – HODNOTITELÉ 11 – 18 [19]	49
TABULKA Č. 8: SUBJEKTIVNĚ POSUZOVANÉ HODNOTY ROZDÍLŮ MODRÉ FOTOCHROMNÍ POLOVINY VZORKU OD STANDARDNÍ POLOVINY VZORKU PODLE ŠEDÉ STUPNICE – HODNOTITELÉ 1 – 10 [19]	50
TABULKA Č. 9: SUBJEKTIVNĚ POSUZOVANÉ HODNOTY ROZDÍLŮ MODRÉ FOTOCHROMNÍ POLOVINY VZORKU OD STANDARDNÍ POLOVINY VZORKU PODLE ŠEDÉ STUPNICE – HODNOTITELÉ 11 – 18 [19]	51
TABULKA Č. 10: NAMĚŘENÉ HODNOTY OZÁŘENOSTI V EXPOZIČNÍM SYSTÉMU HB311 [19]	53
TABULKA Č. 11: NAMĚŘENÉ HODNOTY OSVĚTLENOSTI V EXPOZIČNÍM SYSTÉMU HB311 [19]	54
TABULKA Č. 12: INTENZITA SLUNEČNÍ OZÁŘENOSTI DOPADAJÍCÍ 21. ČERVNA NA 50° S. Š, FAKTOR ZNEČIŠTĚNÍ ATMOSFÉRY Z = 4. [18]	55
TABULKA Č. 13: HODNOTY OZÁŘENOSTI, VIZUÁLNÍ ODCHYLKY A VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ PRO FIALOVÝ VZOREK [19]	56
TABULKA Č. 14: HODNOTY OZÁŘENOSTI, VIZUÁLNÍ ODCHYLKY A VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ PRO MODRÝ VZOREK [19]	59
TABULKA Č. 15: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v S OZNAČENÝMI VYBOČUJÍCÍMI HODNOTAMI – FIALOVÝ VZOREK [19]	63
TABULKA Č. 16: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v BEZ VYBOČUJÍCÍCH HODNOT – FIALOVÝ VZOREK [19]	64
TABULKA Č. 17: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v S OZNAČENÝMI VYBOČUJÍCÍMI HODNOTAMI – MODRÝ VZOREK [19]	65
TABULKA Č. 18: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v BEZ VYBOČUJÍCÍCH HODNOT – MODRÝ VZOREK [19]	66
TABULKA Č. 19: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v S OZNAČENÝMI VYBOČUJÍCÍMI HODNOTAMI – BÍLÝ STANDARD [19]	67
TABULKA Č. 20: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v BEZ VYBOČUJÍCÍCH HODNOT – BÍLÝ STANDARD [19]	68
TABULKA Č. 21: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v S OZNAČENÝMI VYBOČUJÍCÍMI HODNOTAMI – ŠEDÝ STANDARD [19]	69
TABULKA Č. 22: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v BEZ VYBOČUJÍCÍCH HODNOT – ŠEDÝ STANDARD [19]	70
TABULKA Č. 23: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v S OZNAČENÝMI VYBOČUJÍCÍMI HODNOTAMI – ČERNÝ STANDARD [19]	71
TABULKA Č. 24: NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v BEZ VYBOČUJÍCÍCH HODNOT – ČERNÝ STANDARD [19]	72
TABULKA Č. 25: PRŮMĚRNÉ NAMĚŘENÉ HODNOTY xyL_v BÍLÉHO, ŠEDÉHO A ČERNÉHO STANDARDU [19]	74
TABULKA Č. 26: VZÁJEMNÉ POMĚRY STANDARDŮ [19]	75
TABULKA Č. 27: HODNOTY BÍLÉHO, ŠEDÉHO A ČERNÉHO STANDARDU V BAREVNÉM PROSTORU xyY [19]	75
TABULKA Č. 28: POMĚRY NAMĚŘENÝCH HODNOT A HODNOT V BAREVNÉM PROSTORU xyY BÍLÉHO, ŠEDÉHO A ČERNÉHO STANDARDU [19]	76

TABULKA Č. 29: NAMĚŘENÉ HODNOTY XYL_V FIALOVÉHO VZORKU [19].....	76
TABULKA Č. 30: VYPOČÍTANÉ HODNOTY FIALOVÉHO VZORKU V BAREVNÉM PROSTORU xyY [19]	76
TABULKA Č. 31: VYPOČÍTANÉ TRICHROMATICKÉ HODNOTY XYZ FIALOVÉHO VZORKU [19]	77
TABULKA Č. 32: VYPOČÍTANÉ CHROMATICKÉ HODNOTY xy FIALOVÉHO VZORKU [19]	77
TABULKA Č. 33: TRICHROMATICKÉ HODNOTY NORMALIZOVANÉHO SVĚTLA $X_N Y_N Z_N$ [19]	77
TABULKA Č. 34: VYPOČÍTANÉ HODNOTY $X/X_N Y/Y_N Z/Z_N$ [19].....	78
TABULKA Č. 35: VYPOČÍTANÉ HODNOTY $L^* A^* B^*$ FIALOVÉHO VZORKU [19]	78
TABULKA Č. 36: NAMĚŘENÉ HODNOTY XYL_V MODRÉHO VZORKU [19]	81
TABULKA Č. 37: VYPOČÍTANÉ HODNOTY MODRÉHO VZORKU V BAREVNÉM PROSTORU xyY [19]	81
TABULKA Č. 38: VYPOČÍTANÉ TRICHROMATICKÉ HODNOTY XYZ MODRÉHO VZORKU [19].....	81
TABULKA Č. 39: VYPOČÍTANÉ CHROMATICKÉ HODNOTY xy MODRÉHO VZORKU [19]	82
TABULKA Č. 40: TRICHROMATICKÉ HODNOTY NORMALIZOVANÉHO SVĚTLA $X_N Y_N Z_N$ [19]	82
TABULKA Č. 41: VYPOČÍTANÉ HODNOTY $X/X_N Y/Y_N Z/Z_N$ [19].....	82
TABULKA Č. 42: VYPOČÍTANÉ HODNOTY $L^* A^* B^*$ MODRÉHO VZORKU [19]	83
TABULKA Č. 43: KONCENTRACE PIGMENTŮ, HODNOTY OZÁŘENOSTI A K NIM PŘÍŘAZENÉ HODNOTY OZÁŘENOSTI A JEJICH VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ PRO FIALOVÝ DOZIMETR [19]	88
TABULKA Č. 44: KONCENTRACE PIGMENTŮ, HODNOTY OZÁŘENOSTI A K NIM PŘÍŘAZENÉ HODNOTY OZÁŘENOSTI A JEJICH VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ PRO MODRÝ DOZIMETR.....	88

Seznam obrázků

OBRÁZEK Č. 1: DRUHÝ ZÁŘENÍ V ZÁVISLOSTI NA JEJICH VLNOVÉ DÉLCE [1]	13
OBRÁZEK Č. 2: CHOVÁNÍ PAPERŮ PŘI DOPADU NA TKANINU [5]	19
OBRÁZEK Č. 3: TRICHROMATIČTÍ ČLENITELÉ X, Y, Z [11]	30
OBRÁZEK Č. 4: SCHEMATICKE ZNÁZORNĚNÍ PROSTORU $L^* A^* B^*$ [11]	33
OBRÁZEK Č. 5: FIALOVÝ VZOREK [19]	42
OBRÁZEK Č. 6: MODRÝ VZOREK [19]	42
OBRÁZEK Č. 7: TISKACÍ STŮL JOHANNES ZIMMER, TYP MINI MDF/752 [19]	42
OBRÁZEK Č. 8: SUŠÁRNA HS 122A [19]	45
OBRÁZEK Č. 9: ŠEDÁ STUPNICE [19]	46
OBRÁZEK Č. 10: EXPOZIČNÍ SYSTÉM HB311 [19]	47
OBRÁZEK Č. 11: RADIOMETR GOLDILUX [®] [19]	52
OBRÁZEK Č. 12: SONDA GAP – 1 UVA MĚŘÍCÍ OZÁŘENOST A SONDA GLP – 1 MĚŘÍCÍ OSVĚTLENOST [19]	52
OBRÁZEK Č. 13: COLOR ANYLYZER CA – 210 [19]	62
OBRÁZEK Č. 14: SONDA CA – PU 12 [19]	62
OBRÁZEK Č. 15: FIALOVÝ DOZIMETR [19]	87
OBRÁZEK Č. 16: MODRÝ DOZIMETR [19]	87

Seznam grafů

GRAF Č. 1: ZÁVISLOST VIZUÁLNÍ ODCHYLKY NA OZÁŘENOSTI [19].....	56
GRAF Č. 2: ZÁVISLOST VIZUÁLNÍ ODCHYLKY NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19].....	57
GRAF Č. 3: ZÁVISLOST OZÁŘENOSTI NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19]	58
GRAF Č. 4: ZÁVISLOST VIZUÁLNÍ ODCHYLKY NA OZÁŘENOSTI [19].....	59
GRAF Č. 5: ZÁVISLOST VIZUÁLNÍ ODCHYLKY NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19].....	60
GRAF Č. 6: ZÁVISLOST OZÁŘENOSTI NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19]	61
GRAF Č. 7: POMĚRNÉ SPEKTRÁLNÍ SLOŽENÍ SVĚTELNÉ ENERGIE [19].....	73
GRAF Č. 8: ZÁVISLOSTI HODNOT L^* FIALOVÉHO VZORKU NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19].....	79
GRAF Č. 9: ZÁVISLOST HODNOT a^* FIALOVÉHO VZORKU NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19]	79
GRAF Č. 10: ZÁVISLOST HODNOT b^* FIALOVÉHO VZORKU NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19].....	80
GRAF Č. 11: ZÁVISLOST HODNOT L^* MODRÉHO VZORKU NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19]	83
GRAF Č. 12: ZÁVISLOST HODNOT a^* MODRÉHO VZORKU NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19]	84
GRAF Č. 13: ZÁVISLOST HODNOT b^* MODRÉHO VZORKU NA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE OSVĚTLENÍ [19]	85